

S T E R N F R E U N D E - S E M I N A R
in Wiener Planetarium, März bis Mai 1981

D E R M O N D
=====

Als Kurs - Adskriptum herausgegeben vom Astronomischen Verein zur Förderung der Amateurastronomie in Österreich, A-1090 Wien, Seegasse 8.- Jegliche Wiedergabe, auch von Teilen, ist nicht gestattet.

- 1 Titelblatt und Inhaltsverzeichnis.
- 2 - 8 Ausgewählte Literatur über den Mond. Mit Ausstellung und Möglichkeit zum Durchblättern fast aller angeführten Werke.
- 9 -12 Bemerkenswerte Daten aus der Geschichte der Mondforschung.
- 13-19 Scheinbarer Ort des Mondes (Renate Birnkraut, Wien).
- 20 Die Libration des Mondes (Univ.-Prof.Dr.Guntram Schrutka-Rechtenstamm, Wien).
- 21-25 Rotation und Libration des Mondes (Beate Hirn, Wien). Mit Ausstellung eines Mond-Leuchtglobus' und eines Modells zu den Cassini'schen Gesetzen.
- 26-29 Selenographische Koordinaten (Michael Pietschnig, Wien).
- 30-54 Die Lichtgrenze auf dem Mond (Wolfgang Valentin, Wien). Mit 30 Terminator-Karten und neuen Terminator-Formationstabellen.
- 55-63 Selenodesy and Selenography (Dipl.Ing.Antonín Růkl, Observatory and Planetarium Praha, ČSSR). Deutsche Übersetzung im "Sternenboten", 5/1981. Mit Ausstellung: Polnaya Karta Luny, 1979; Lunar Farside Chart, 1967 Aug., Okt.; The Earth's Moon, 1976; NASA Chart of the Moon, 1979; Ranger Lunar Charts, 1964; Maps of Lunar Hemispheres, 1972; Preliminary Map of Jo, 1979.
- 64-70 Anblicke der Mondlandschaften (Alexander Pikhard, Wien).
- 71-72 Der "Consolidated Lunar Atlas". Mit Ausstellung sämtlicher Karten-Aufnahmen der Streifen A,B,C (insgesamt A-H).
- 73-75 Das Lunar Orbiter Programm (Christian Köberl, Mödling NÖ).
- 76-78 Die "Maps of Lunar Hemispheres" (Alexander Probst, Wien).
- 79 Schema Apollo: Kommandokapsel, Fähre, ALSEP-Station, Rover.
- 80-81 Weiche Landungen auf dem Mond. Mit Filmausschnitten im int. TV.
- 82-85 Mondgesteine (Univ.-Doz.Dr.Gero Kurat, Nat.Hist.Museum, Wien).
- 86-92 Magnetfelder und Atmosphäre des Mondes (Dr.Norbert Giesinger, Dornbirn und Wien).
- 93-96 Mondphotographie (Hans Bernhard, München, BRD). Referat verlesen. Mit Ausstellung von Muster-Mondaufnahmen.
- 97-101 Mondfahrer-Denksport, 7 Aufgaben (Robert Weber, Wien).

Veranstalter: Wiener Planetarium (Wiener Urania) und Astronomischer Verein (Astro-Verein).- Leitung des Seminars: Hermann Mucke.

Übersicht: Ausgewählte Literatur über den Mond.

In der folgenden Zusammenstellung sind facheinschlägige Werke genannt, die sowohl über die Geschichte als auch über den Stand der Mondforschung bis herauf in die jüngste Vergangenheit orientieren. Fast alle genannten Werke werden den Seminarteilnehmern nicht nur über das interne Fernsehsystem des Wiener Planetariums, sondern auch im Original vorgestellt; da es sich in der Regel um wertvolle Bände und Karten handelt, wird beim Ansehen und Durchblättern um besondere Achtsamkeit und Schonung gebeten.

Darüber hinaus werden im weiteren Seminarverlauf bestimmte Werke ausführlicher und unter fallweiser Beigabe von Musterseiten erläutert werden.

1) Zur Einführung

F.Link, DER MOND. Nr.101 der Reihe "Verständliche Wissenschaft", Springer, Berlin 1969.

E.Hantzsche, DOPPELPLANET ERDE-MOND. Kleine Naturwissenschaftliche Bibliothek, Reihe Physik, Band 15. Teubner, Leipzig 1973.

T.Rackham, MOON IN FOCUS. Pergamon Press, Oxford 1968.

Ältere, aber trotzdem sehr lesenswerte Werke:

V.de Callatay, W.Jahn, GOLDMANN'S MONDATLAS. Goldmann, München 1962.

Ph.Fauth, DER MOND, das von dem erfahrenen Mondbeobachter verfaßte Kapitel über den Mond im "Astronomischen Handbuch", Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1.Aufl., 1921; das in dessen 2.Aufl., 1924, von K.Graff verfaßte Kapitel über den Mond ergänzt den Fauth'schen Beitrag vorzüglich. Besonders für angehende Beobachter zu empfehlen.

F.Franz, DER MOND. Aus Natur und Geisteswelt, Nr.90. Teubner, Leipzig 1912.

Übersichtskarte - Atlas - Globus:

THE EARTH'S MOON, Map of the Moon. The National Geographic Society, Washington D.C., 1969. Erdzu- und erdabgewandte Mondhälfte auf 2 Planigloben. 70 x 105cm.

A.Rükl, TASCHENATLAS MOND, MARS, VENUS. Artia, Prag 1977. 76 Karten sowie Gesamtansicht des Mondes aus den 6 Hauptrichtungen. Mit Übersichts-Mondkarte. Ein ganz vorzügliches Werk für Rohre bis 15cm Ø. Neben jeder der 76 Karten Kurzbeschreibung der Hauptformationen.

Fortsetzung Übersicht: Ausgewählte Literatur über den Mond.

MONDGLOBUS, 26cm Ø, beleuchtet, mit Landeplätzen der Mondflugkörper.
Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart 1980.

2) Zur scheinbaren und räumlichen Bewegung

O. Neugebauer, ASTRONOMICAL CUNEIFORM TEXTS, Vol. 1, 2, 3. Lund Humphries, London 1955. Babylonische Mondtheorie sowie Abbildungen der zugehörigen Tontafeln.

C. Ptolemäus, HANDBUCH DER ASTRONOMIE (Syntaxis). Ausgabe von K. Manitius. Teubner, Leipzig 1962.

O. Neugebauer, A HISTORY OF ANCIENT MATHEMATICAL ASTRONOMY, Part 1, 2, 3. Springer, Berlin 1975. Darin Beschreibung der Mondtheorien vom 3. Jahrhundert v. Chr. bis zum 17. Jahrhundert n. Chr.

F. F. Tisserand, TRAITÉ DE MÉCANIQUE CÉLESTE, Paris 1896, Vol. 3. Darin alle Mondtheorien von 1687 bis 1890 ausführlich behandelt: Newton, Clairaut, d'Alembert, Euler, Laplace, Damoiseau, Poisson, Pontécoulant, Delaunay, Hansen, Hill, Adams.

E. W. Brown, AN INTRODUCTORY TREATISE ON THE LUNAR THEORY (1896). Neudruck durch Dover Publications, New York, 1960.

E. W. Brown, THEORY OF THE MOTION OF THE MOON, Mem. RAS Vol. LVII sowie: American Journal of Math., Vols. XIV, XV, XVII und MN. RAS LII, LIV, LV.

K. Stumpff, HIMMELSMECHANIK, Band II und III. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin DDR, 1974.

Tafelwerke:

P. A. Hansen, TABLES DE LA LUNE, construites d'après le principe Newtonien de la Gravitation universelle, London 1857.

E. W. Brown, TABLES OF THE MOTION OF THE MOON, Yale University Press, New Haven 1919; sie sind verbessert worden nach:
IMPROVED LUNAR EPHEMERIS 1952-1959, HMNAO London und USNO Washington, 1954.

J. Meeus, TABLES OF MOON AND SUN, Kesselberg Sterrenwacht, Kessel-Lo, Belgium, 1962. Abgekürzte Brown'sche Mondtheorie ($\pm 1''$).

P. Ahnert, ASTRONOMISCH-CHRONOLOGISCHE TAFELN, 5. Aufl., J. A. Barth, Leipzig 1971. Sehr stark vereinfachte Theorie ($\pm 0,5^\circ$).

Ephemeriden:

THE NAUTICAL ALMANAC / ASTRONOMICAL EPHEMERIS AND NAUTICAL ALMANAC.
H. M. Nautical Almanac Office, Royal Greenwich Observatory, England.
Erste Ausgabe für 1767. Ekliptikale Örter für Mittag und Mitter-

Fortsetzung Übersicht: Ausgewählte Literatur über den Mond.

nacht, später äquatoreale Örter in stündlichem Intervall ($\pm 0,01''$).
Letzte Ausgabe für 1980. Ab 1960 identisch mit den AMERICAN EPHEMERIS
AND NAUTICAL ALMANAC.

ASTRONOMITSCHESKI ESHEGODNIK (Astronomisches Jahrbuch der UdSSR),
Institut für Theoretische Astronomie, Leningrad. Stündliche, äqua-
toreale Örter mit Parallaxe ($\pm 0,01''$, verbesserte Theorie von Brown).

B.Tuckerman, PLANETARY, LUNAR, AND SOLAR POSITIONS. American Philo-
sophical Society, Philadelphia, Penn., USA.

601 BC to AD 1 (1962) und AD 2 to AD 1649 (1964).

Ekliptikale Örter in fünftägigem Intervall ($\pm 0,1^\circ$, Theorie von
Hansen).

DIE DEUTSCHE EPHEMERIDE, Otto Wilhelm Barth Verlag, München. Band
I-VII, Ekliptikale Örter und Länge des aufsteigenden Knotens in
Zeichenlänge, von 1850 bis 2000 täglich ($\pm 1'$).

3) Zu den Finsternissen

P.Schwahn, MATHEMATISCHE THEORIE DER ASTRONOMISCHEN FINSTERNISSE,
Math.-Phys. Schriften für Ingenieure und Studierende Nr.8, Teubner,
Berlin 1910.

ASTRONOMISCHE FINSTERNISSE, Sternfreunde-Seminar 1979, Wiener Plane-
tarium und Astronomischer Verein. Zu beziehen durch das Astrono-
mische Büro, A-1238 Wien.

G.van den Bergh, PERIODICITY AND VARIATION OF SOLAR AND LUNAR
ECLIPSES, H.D.Tjeenk Willink & Zoon NV, Haarlem 1950 und 1955.

F.Link, DIE MONDFINSTERNISSE, Akademische Verlagsgesellschaft Geest &
Portig KG, Leipzig 1956.

T.Oppolzer, CANON DER FINSTERNISSE, 52.Band der Denkschriften der
Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Math.-Nat.Classe,
Wien 1887. Neudruck durch Dover Publications, New York 1962.
Sonnen- und Mondfinsternisse von -1206 bis 2161. Theorie von Hansen.

J.Meeus, C.C.Grosjean, W.Vanderleen, CANON OF SOLAR ECLIPSES, Perga-
mond Press, Oxford 1966. Alle Sonnenfinsternisse von 1898 bis 2510,
Brown'sche Theorie.

J.Meeus, H.Mucke, CANON OF LUNAR ECLIPSES, -2002 to 2526. Astrono-
mische Büro, A-1238 Wien. In Vorbereitung: CANON OF SOLAR ECLIPSES.
Wiederholung des Oppolzer'schen Werkes mit höherer Genauigkeit und
Informationsgehalt, verbesserte Brown'sche Theorie.

Fortsetzung Übersicht: Ausgewählte Literatur über den Mond.

H.H.Goldstine, NEW AND FULL MOONS, 1001 BC to AD 1651. American Philosophical Society, Philadelphia, 1973.

4) Einzel- und Gesamtdarstellungen

J.Hevelius, SELENOGRAPHIA SIVE LUNAE DESCRIPTIO, Danzig 1647.

J.H.Schröter, SELENOTOPOGRAPHISCHE FRAGMENTE, Liliental 1791 und Göttingen 1802.

S.A.Saunders, THE DETERMINATION OF SELENOGRAPHICAL POSITIONS AND THE MEASUREMENT OF LUNAR PHOTOGRAPHS, M.N. 60, No.3 und 62, No.1, London 1900 und 1902.

L.Weinek, SELENOGRAPHISCHE ORTSBESTIMMUNG DER MONDFORMATIONEN, Prag 1912.

F.Hayn, SELENOGRAPHISCHE KOORDINATEN, 4 Abh., Leipzig 1914.
Das Werk enthält auch die Behandlung des Randprofils.

W.Goodacre, THE MOON, WITH A DESCRIPTION OF ITS SURFACE FORMATIONS, Bournemouth, 1931.

T.G.Elger, THE MOON - A FULL DESCRIPTION AND MAP OF ITS PRINCIPAL FEATURES. Philip, London 1895, Neuausgabe durch H.P.Wilkins, Philip, London 1950.

D.W.G.Arthur, CONSOLIDATED CATALOG OF SELENOGRAPHIC POSITIONS, Communications of the Lunar and Planetary Laboratory, University of Arizona, Tucson, Arizona 1962. Standardwerk für Koordinaten von Mondformationen.

Z.Kopal, R.W.Carder, MAPPING OF THE MOON, D.Reidel Publishing Comp., Dordrecht, Holland 1974. Darin Geschichte der Mondkartographie mit Behandlung auch der frühen Mondkarten vor Beer und Mädler sowie der Grundlagen der Mondkartographie.

Weltraumtechnische Mondforschung:

PRESS KITS der Ranger-, Orbiter-, Surveyor- und Apollo-Missionen.
NASA, Washington, D.C.

DAS GROSSE PROJEKT - RAUMFAHRT UND APOLLO-PROGRAMM. Wissenschaftliche Erkenntnisse und praktischer Nutzen für die Menschheit. Herausgegeben in Zusammenarbeit mit USIS Bonn von C.Zeiss, Oberkochen BRD. Heidenheim-Oberkochen, 1971.

Z.Kopal, THE MOON IN THE POST-APOLLO-ERA. D.Reidel Publishing Comp., Dordrecht, Holland 1974.

Fortsetzung Übersicht: Ausgewählte Literatur über den Mond.

5) Mondkarten und Mondatlanten, Mondgloben (siehe auch 1)

Gezeichnete:

- W.G.Lohrmann, MONDCHARTÉ VON WILHELM GOTTHELF LOHRMANN, herausgegeben von J.F.J.Schmidt, Leipzig 1878. 25 Sektionen, deren erste sind zusammen mit seiner TOPOGRAPHIE DER SICHTBAREN MONDOBERFLÄCHE, Dresden und Berlin 1824, erschienen.
- W.Beer, J.H.Mädler, MAPPA SELENOGRAPHICA, totam Lunae hemisphaeram visibilem complectens, Berlin 1834.
- J.F.J.Schmidt, CHARTE DER GEBIRGE DES MONDES, Reimer, Berlin 1878. 25 Sektionen.
- E.Neison, DER MOND UND DIE BESCHAFFENHEIT UND GESTALTUNG SEINER OBERFLÄCHE, nebst Atlas von 26 Karten und 5 Tafeln in Farbdruck, 2.Aufl., Vieweg & Sohn, Braunschweig 1881.
- W.Goodacre, LUNAR MAP, 25 Sections, London 1910.
- H.P.Wilkins, P.Moore, THE MOON, a complete description of the surface of the Moon, containing the reduced 300-inch Wilkins' Lunar Map. Faber & Faber, 2.Auflage, London 1961.
- PH.Fauth, GROSSER MONDATLAS, herausgegeben von der Olbers-Gesellschaft Bremen unter Mitarbeit von H.Fauth, Bremen 1964. Dazu zwei Sonderhefte "Mondkarten", Nachrichten der Olbers-Ges.Nr.60 und 63. Dazu Übersichtskarte des Mondes in 6 Blättern, auch separat erhältlich, Bremen 1966.

Photographische:

- E.S.Holden, LICK OBSERVATORY ATLAS OF THE MOON, 1897. Erster photographischer Mondatlas.
- L.Weinek, PHOTOGRAPHISCHER MOND-ATLAS, wahrnehmlich auf Grund von focalen Negativen der Lick-Sternwarte (durch Zeichnung ergänzt). Prag 1899, unvollendet.
- W.H.Pickering, THE MOON, Doubleday, Page & Co., New York 1903.
- W.H.Pickering, PHOTOGRAPHIC ATLAS OF THE MOON, Harvard Ann.51, Cambridge, Mass., 1903.
- M.Loewy, P.Puiseux, ATLAS PHOTOGRAPHIQUE DE LA LUNE, Observatoire de Paris, 1909.
- J.N.Krieger, MOND-ATLAS (Zwei Teile), Leipzig-Triest-Wien, 1927. Durch Zeichnung ergänzte Aufnahmen. Unvollständig bzw. unvollendet, z.T. posthum durch König herausgegeben.

Fortsetzung Übersicht: Ausgewählte Literatur über den Mond.

- M.C.Le Morvan, CARTE PHOTOGRAPHIQUE ET SYSTEMATIQUE DE LA LUNE, Paris 1921. Ausgewählte Aufnahmen aus dem Werk von Loewy-Puiseux.
- G.P.Kuiper et al., PHOTOGRAPHIC LUNAR ATLAS (USAF LUNAR ATLAS), University of Chicago Press, Ill., 1960.
- ORTHOGRAPHIC ATLAS OF THE MOON (Suppl.1 zu obigem, mit orthogr. Netz, University of Arizona Press, Tucson, Arizona, 1960.
 - ORTHOGRAPHIC ATLAS OF THE MOON, wie oben, jedoch auch mit mittl. Längen-/Breitennetz.
- V.A.Firsoff, MOON ATLAS, Hutchinson, London 1961.
- E.A.Whitaker et al., RECTIFIED LUNAR ATLAS (Suppl.2 zum PHOTOGRAPHIC LUNAR ATLAS, durch Projektion auf Kugel entzerrt). University of Arizona Press, Arizona 1964.
- S.Miyamoto, A.Hattori, PHOTOGRAPHIC ATLAS OF THE MOON, 2.Aufl., Contr. Astrophys.Inst. and Kwasan Obs., University of Kyoto, Japan 1964.
- Z.Kopal, J.Klepesta, T.W.Rackham, PHOTOGRAPHIC ATLAS OF THE MOON, Academic Press, New York 1965.
- G.P.Kuiper et al., CONSOLIDATED LUNAR ATLAS (Suppl.3 und 4 zum PHOTOGRAPHIC LUNAR ATLAS, Aufnahmen mit 61" Catalina- und 61" SNO-Spiegel, Lunar and Planetary Laboratory, University of Arizona, Tucson, Arizona, 1967. Bester und voraussichtlich letzter großer erd-perspektivischer Mondatlas. 226 Aufnahmen, jede Gegend in verschiedenen Beleuchtungen.
- D.Alter, LUNAR ATLAS, Space Sciences Labs., North American Aviation, Dover Publications, New York 1968.
- Z.Kopal, NEW PHOTOGRAPHIC ATLAS OF THE MOON, Taplinger Press, New York 1970.
- A.Voigt, H.Giebler, BERLINER MOND-ATLAS. 107 fotografischen Blättern, auch mit vollen Phasenwiedergaben. W.Foerster-Sternwarte, Berlin, 2.Aufl.1974.

Spezialkarten und Spezialatlanten, Globen:

- T.Weimer, ATLAS DE PROFILS LUNAIRES, Observatoire de Paris, 1952.
- C.B.Watts, CHARTS OF THE MARGINAL ZONE OF THE MOON, Astr.Papers,XVII, Washington 1963. 1800 Karten zur Reduktion des Randprofils auf die mittlere Mondkugel für Positionswinkel im Intervall von $0,2^{\circ}$ für fast alle Librationen.

ATLAS DER UNSICHTBAREN SEITE DES MONDES, Teil 1: 30 Aufnahmen von

Fortsetzung Übersicht: Ausgewählte Literatur über den Mond.

Luna 3 und Rückseiten-Karte in 4 Sektionen, Sowjetische Akademie der Wissenschaften, Moskau 1960. Erste Karte der Mondrückseite. Teil 2: 25 Aufnahmen der Rückseite von Zond 3, Sowjetische Akademie der Wissenschaften, Moskau 1967. Weitere Ausgabe vom Pulkovo Obs.

VERBESSERTE SKIZZEN-KARTE DES WESTLICHEN SEKTORS DER UNSICHTBAREN MONDSEITE, Sternberg-Institut und Geodätisches Zentralinstitut, Moskau.

GEOLOGIC ATLAS OF THE MOON, U.S. Geological Survey, Washington D.C., 1966. Grundlage: Lunar Astronautical Chart (LAC).

VOLLSTÄNDIGE MONDKARTE, Sternberg-Institut und Topogeodätischer Dienst der UdSSR. 9 Blätter, Moskau 1967.

LUNAR ASTRONAUTICAL CHART (LAC), Aeronautical Chart and Information Center, Washington, D.C., 1967. Von den geplanten 144 Blättern sind nur 44 erschienen. Diese Karte diente als Grundlage für mehrere weitere Kartenprojekte.

P.M.Muller, W.L.Sjogren, GRAVIMETRIC MAP OF THE LUNAR SURFACE, Science, 161, p.680, 1968.

D.E.Bowker, J.K.Hughes, LUNAR ORBITER PHOTOGRAPHIC ATLAS OF THE MOON, NASA SP-206, Washington, D.C., 1971. 675 Reproduktionen von Lunar Orbiter Aufnahmen.

A.Rükl, MAPS OF LUNAR HEMISPHERES, giving the views of the Lunar Globe from six cardinal directions in space. D.Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland 1972.

- TASCHENATLAS MOND, MARS, VENUS, siehe 1): Dieser Atlas entstand in modernster Air-Brush-Technik unter Verwendung des CONSOLIDATED LUNAR ATLAS und des LUNAR ORBITER PHOTOGRAPHIC ATLAS OF THE MOON.

- LIBRATIONS-MONDKARTE, Sternfreunde-Seminar 1979, Wiener Planetarium und Astronomischer Verein, siehe 3). Erste Mondkarte, mittels welcher die momentane, durch Libration veränderte Lage von Mondformationen festgestellt werden kann. Speziell für 70 helle, punktförmige Krater (Finsternisbeobachtungen!) ausgeführt.

MOND-GLOBUS DER UDSSR, Erster Mondglobus, mit noch unbekanntem Gebieten, nach Luna 3 - Aufnahmen, Moskau 1961. Später entsprechend dem neuesten Stand mehrfach verbessert erschienen. 35cm Ø.

NASA LUNAR GLOBE, 40cm Ø, Aeronautical Chart and Information Center, Washington, D.C., 1969.

Siehe auch 1).

Referat: Bemerkenswerte Daten aus der Geschichte der Mondforschung.

- 762 Totale Sonnenfinsternis vom 15. Juni, total in Assur, sichert Ptolemäischen Königskanon.
- 720 Totale Mondfinsternis, 19. März. Älteste Finsternis aus der Syntaxis.
- 650 Früheste Grenze für die Erfindung der Systeme A und B der babylonischen Mondrechnung. Das bedeutet u.a.: Definition des synodischen Monats, der Syzygien, der Sonnen- und Mondlänge sowie -breite; Kenntnis der Mondknoten und ihrer Rückläufigkeit, der Finsternisgrenzen, der Sarosperiode und ihrer Dauer von 223 synodischen Monaten, der Ungleichheit der Sonnen- und Mondbewegung.
- 431 Metonischer Zyklus (19 Jahre = 235 synodische oder 255 drakonitische Monate) zur Kalenderverbesserung bei den Olympischen Spielen dieses Jahres angenommen.
- 294 Älteste Beobachtung einer Sternbedeckung aus der Syntaxis, 21. Dezember (Akrab).
- 272 Beginn des ältesten erhaltenen Mondrechnungstextes aus Babylon, System A (Astronomical Cuneiform Texts I, p.117).
- 150 In diesen Jahren bestimmt Hipparchos von Nicaea die Entfernung des Mondes von der Erde aus der maximalen Dauer von Mondfinsternissen zu 59 Erdradien; in Verbindung mit dem Winkeldurchmesser des Mondes auch seine wahre Größe zu $\frac{1}{4}$ Erddurchmesser bekannt. (Absolutwerte nach Bestimmung des Erdradius durch Eratosthenes von Kyrene um -230 ermittelbar). Ferner Bestimmung der Exzentrizität und Mittelpunktsgleichung der Mondbahn, des rückläufigen Knotenumlaufs zu $18\frac{2}{3}$ Jahren und des rechtläufigen Umlaufs der Apsiden zu knapp 9 Jahren. Begründung freisichtiger Instrumentalbeobachtungen.
- 140 In diese Zeit fällt die Erstellung der Epizykeltheorie auch für den Mond durch Ptolemäus; Entdeckung der Evektion, Berücksichtigung der Mondparallaxe. Das bedeutet u.a.: Geometrisches Modell für die Mondbewegung, das seine ekliptikalischen Orte genauer als 1° über mehr als ein Jahrtausend darstellt: Ptolemäische Mondtafeln in der Syntaxis.
- 1252 Alphonsinische Tafeln; Neuauflage 1867.
- 1588 Brahe entdeckt die Veränderlichkeit der Mondbahnneigung.
- 1595 Brahe entdeckt die Variation und die Ungleichförmigkeit der Knotenbewegung.
- 1598 Brahe und Kepler entdecken unabhängig von einander die jährliche Gleichung des Mondes.

Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Daten aus der Mondforschung.

- 1600 Herstellung der ersten erhaltenen, freisichtigen Mondzeichnung in "De Mundo Nostro Sublunari Philosophia Nova" von W.Gilbert, posthum 1651 in Amsterdam veröffentlicht.
- 1609 Galilei beobachtet erstmals den Mond mit einem Fernrohr und veröffentlicht erste teleskopische Mondzeichnungen im "Sidereus Nuncius", Venedig 1610. Er gibt auch an, wie Mondberge aus der Länge ihres Schattens ihrer Höhe nach gemessen werden können, schätzt aber 2-3mal zu hoch.
- 1627 "Tabulae Rudolphinae" von Kepler, nach seinen Bewegungsgesetzen aus der "Astronomia Nova", Prag 1608, berechnet. Letzte rein geometrische Darstellung der Mondbewegung.
- 1647 "Selenographia sive Lunae Descriptio" von Hevelius, Danzig. Erstmals Libration berücksichtigt. Er benennt den Südrand des Mare Tranquillitatis "Apollonia" - und genau dort landete im Juli 1969 Apollo 11! Erste brauchbare Mondkarte.
- 1651 Mondkarte von Riccioli aus seinem "Almagestum Novum", führt die noch heute gebräuchliche Nomenklatur der Formationen ein.
- 1681 Mondtafeln von Flamsteed, gefolgt von jenen von Euler 1745, T.Mayer 1752, 1770, 1787, Clairaut 1754, 1765, Bürg 1806, Burckhardt 1812; ferner 1857 Hansen, 1919 Brown.
- 1687 Mondtheorie von Newton in seinen "Principia Mathematica Philosophiae Naturalis". Erste dynamische Darstellung der Mondbewegung nach der Störungsrechnung.
- 1693 Halley entdeckt die säkulare Beschleunigung der Mondbewegung. Cassini (Giovanni Domenico) stellt die drei heute nach ihm benannten Gesetze der Rotation und Libration des Mondes auf.
- 1750 T.Mayer zeichnet die erste Mondkarte mit Gradnetz nach Vermessung der Mondoberfläche. Krater Manilius, nahe dem Scheibenzentrum, als Nullpunkt; 23 Positionen gemessen, 65 weitere eingeschätzt. Orthographische Projektion, 45cm Ø. Posthum von Klinkerfues 1881 veröffentlicht.
- 1767 Erster Jahrgang des "Nautical Almanac" mit spezieller Mond-ephemeride, erscheint in Greenwich. Letzter Jahrgang 1980.
- 1780 W.Herschel mißt Schattenlängen der Mondberge und berechnet daraus ihre Höhen.
- 1836 "Mappa Selenographica" von Beer und Mädler. Erste moderne Mondkarte, wenn man von den 1824 erschienenen ersten 4 Blättern der Lohrmann'schen Mondkarte absieht.
- 1887 "Canon der Finsternisse" von Oppolzer.
- 1897 "Lick Observatory Photographic Atlas of the Moon", von Holden. Erster photographischer Mondatlas.
- 1905 Mondtheorie von Brown, verbessert 1954.

Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Daten aus der Mondforschung.

- 1909 "Atlas Photographique de la Lune", von Loewy und Puiseux.
- 1919 Mondtafeln von Brown.
- 1930 Großangelegte Überprüfung der Brown'schen Mondtheorie durch Sternbedeckungen, organisiert vom Royal Greenwich Observatory, beginnt. Bis 1974 wurden über 62000 Beobachtungen reduziert.
- 1954 Verbesserung der Brown'schen Mondtheorie.
- 1959 Erstmals Mond von einer Raumsonde erreicht (Luna 2, 13.Jan.).
Erstmalige Umkreisung des Mondes (Luna 3, 7.Okt.) und erste Aufnahmen der Rückseite.
- 1960 Erste Karte der Rückseite des Mondes (Luna 3 Aufnahmen).
Einführung der Ephemeridenzeit als von der Rotation der Erde unabhängige Zeit; Feststellung der jeweiligen Differenz ΔT zur Weltzeit durch Mondbeobachtungen (Sternbedeckungen, Sonnenfinsternisse, Spezialmondkameras).
- 1961 Erster Mondglobus (Luna 3 Aufnahmen)
- 1962 "Consolidated Catalog of Selenographic Positions" von Arthur.
- 1963 Karten der Mondrandzonen von Watts.
- 1964 Letzter gezeichneter Mondatlas erscheint (Ph.Fauth, posthum veröffentlicht von der Olbers-Gesellschaft, Bremen).
- 1966 "Canon of Solar Eclipses", von Meeus.
Erste weiche Landung auf dem Mond (Luna 9, 3.Feb.), erste Informationen über Festigkeit der Oberflächenschichten.
Panoramabilder.
Erster von 5 "Lunar Orbiters" schwenkt am 14.Aug. in die Umlaufbahn um den Mond: Photogrammetrie des Mondes. Letzter beendet seine Tätigkeit am 29.Jan.1968. Größte Flughöhe I-III 1850 km, IV,V 6100 km. Zusammen 1950 Aufnahmen.
- 1967 "Consolidated Atlas of the Moon", von Kuiper et al.; letzter großer erdperspektivischer photographischer Mondatlas.
- 1968 Gravimetrische Mondkarte von Muller-Sjogren.
Erstmals umkreisen Menschen der Mond (Apollo 8, 24.Dez.): Borman, Anders, Lovell).
- 1969 Erste Landung von Menschen auf dem Mond (Apollo 11, 20.Jul.: Armstrong und Aldrin).
Erste von 5 "ALSEP"-Stationen auf dem Mond durch Besatzung von Apollo 12 aufgebaut, 19.Nov.: Magnetometer, aktives und passives Seismometer, Thermometer, Detektoren für Teilchen, Mondatmosphäre, Mondionosphäre; Winkelprismen-Laserspiegel.
- 1970 Erste automatische Probenentnahme vom Mond (Luna 16, 20.Sep.) und 101 g Probe aus einer Tiefe bis 35cm zur Erde gebracht.

Fortsetzung Referat: Bemerkenswerte Daten aus der Mondforschung.

- 1970 Erstes automatisches, fahrbares Labor auf dem Mond: Lunochod 1.
10 Monate Betrieb, 10,5 km zurückgelegt (Beginn: 17.Nov.).
- 1971 "Lunar Orbiter Photographic Atlas of the Moon" von Bowker und
Hughes.
- 1972 "Maps of Lunar Hemispheres", aus den 6 Hauptraumrichtungen,
von Rükl.
Vorläufig letzte Landung von Menschen auf dem Mond (Apollo 17,
11.Dez.).
- 1979 Erste Librations-Mondkarte für 70 Formationen, von Rükl.
"Canon of Lunar Eclipses", von Meeus-Mücke.

Diese Zusammenstellung kann natürlich keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben; weitere Daten könnten unschwer hinzugefügt werden.

Literatur

Siehe Übersicht "Ausgewählte Literatur über den Mond".

Referat: Scheinbarer Ort des Mondes.

Grundlage: Mondtheorie von E.W.Brown, wie sie in verkürzter Form in den schönen "Tables of Moon and Sun" von J.Meeus vorliegt ($\pm 1''$); eine weiter verkürzte Fassung findet sich in den Papieren des "Sternfreunde-Seminars 1977" ($\pm 0,01''$). Weil diese Papiere vergriffen sind, werden die dortigen Formeln hier wiedergegeben und zusätzlich der Übergang vom geozentrischen auf den topozentrischen Ort behandelt.

1) Geozentrischer Ort

Es bedeutet:

- T' Termin in Ephemeridenzeit (Jahr, Monat, Tag, Tagbruchteil)
- JD T' in der julianischen Periode ausgedrückt ("Julianisches Datum")
- T₀ Epoche: +1900 01 00 greg., 12^h ET = JD 2 415 020,000 0
- ΔT Ephemeridenzeit - Weltzeit = ET-UT; ET = UT + ΔT ; UT = ET - ΔT
- L₀ Ungestörte, mittlere Länge des Mondes (Mondmitte), gebrochener Winkel, vom Frühlingspunkt zum aufsteigenden Knoten in der Ekliptik und von dort in der Mondbahn bis zur Mondmitte gemessen.
- D₀ Ungestörte, mittlere Elongation Mond-Sonne
- F₀ Ungestörter, mittlerer Abstand Mond - aufsteigender Knoten
- M'₀ Ungestörte, mittlere Anomalie des Mondes
- L_{☉0} Ungestörte, mittlere Länge der Sonne
- M_{☉0} Ungestörte, mittlere Anomalie der Sonne
- Ω Ungestörte, mittlere Länge des aufsteigenden Knotens
- e* Ungestörte numerische Exzentrizität der Erdbahn, normiert auf deren Wert für T₀. Für Berechnung der Sonnenlänge dient e.
- N T₁, T₂ Argumente zur Berechnung der Störungen
- L, D, F, M₀, M' gestörte Elemente, siehe oben
- C Mittelpunktsgleichung des Mondes, C_☉ Mittelpunktsgleichung Sonne
- Π₀ Ungestörte Äquatoreal-Horizontalparallaxe des Mondes
- Π Gestörte Äquatoreal-Horizontalparallaxe des Mondes
- L_n, B_n, P_n Störungsbeträge in Länge, Breite und Parallaxe
- C_n Koeffizienten der Störungsterme (Tabelle)
- i, j, k, l Argument-Koeffizienten der Störungsterme (Tabelle)
- λ Geozentrische ekliptikale Länge, bezogen auf den mittleren Frühlingspunkt (mittleres Äquinoktium des Datums)
- β Geozentrische ekliptikale Breite, bezogen auf ... (wie Länge)
- SD Geozentrischer Winkelhalbmesser

Berechnung der ungestörten Elemente:

$$t = T' - T_0 = (\text{JD} - 2\,415\,020,000\,0) : 365,25 \quad (t \text{ in julian. Jahren})$$

$$\Delta T = 0,000\,28^d + 8,370\,14 \text{ EEX-6} \cdot t + 3,466\,435\,19 \text{ EEX-8} \cdot t^2$$

Fortsetzung Referat: Scheinbarer Ort des Mondes.

$$L_0 = 270,434^\circ + 4\,812,678\,831 \cdot t - 1,133\,333\,33 \text{ EEX-7} \cdot t^2 + 1,888\,888\,89 \text{ EEX-12} \cdot t^3$$

$$M'_0 = 296,105^\circ + 4\,771,988\,491 \cdot t + 9,191\,666\,67 \text{ EEX-7} \cdot t^2 + 14,388\,888\,9 \text{ EEX-12} \cdot t^3$$

$$\Omega_0 = 259,183^\circ - 19,341\,420\,1 \cdot t + 2,077\,777\,78 \text{ EEX-7} \cdot t^2 + 2,222\,222\,222 \text{ EEX-12} \cdot t^3$$

$$L_{\odot 0} = 279,697^\circ + 360,007\,689\,3 \cdot t + 0,302\,5 \text{ EEX-7} \cdot t^2$$

$$M_{\odot 0} = 358,476^\circ + 359,990\,497\,5 \cdot t - 0,150\,0 \text{ EEX-7} \cdot t^2 - 3,333\,333\,333 \text{ EEX-12} \cdot t^3$$

$$D_0 = L_0 - L_{\odot 0}$$

$$F_0 = L_0 - \Omega_0$$

$$e^* = 1 - 2,495 \text{ EEX-5} \cdot t - 7,522 \text{ EEX-10} \cdot t^2$$

$$N = 275,05^\circ - 0,023 \cdot t$$

$$T_1 = 51,2^\circ + 0,202 \cdot t$$

$$T_2 = 346,56^\circ + 1,328\,7 \cdot t - 9,173 \text{ EEX-7} \cdot t^2$$

Berechnung gestörter Elemente, Mittelpunktsgleichung, Parallaxe:

$$L = L_0 + 0,003\,96^\circ \cdot \sin T_2 + 0,002\,02^\circ \cdot \sin \Omega_0$$

$$D = D_0 + 0,002\,01^\circ \cdot \sin T_1 + 0,003\,96^\circ \cdot \sin T_2 + 0,002\,02^\circ \cdot \sin \Omega_0$$

$$F = F_0 + 0,003\,96^\circ \cdot \sin T_2 - 0,024\,64^\circ \cdot \sin \Omega_0 - 0,004\,33^\circ \cdot \sin (N + \Omega_0)$$

$$M_{\odot} = M_{\odot 0} - 0,001\,78^\circ \cdot \sin T_1$$

$$M' = M'_0 + 0,000\,82^\circ \cdot \sin T_1 + 0,003\,96^\circ \cdot \sin T_2 + 0,002\,59^\circ \cdot \sin \Omega_0$$

Die Elemente Ω_0 und e^* bleiben ungestört.

$$C = 6,288\,75^\circ \cdot \sin M' + 0,213\,62^\circ \cdot \sin 2 M' + 0,010\,03^\circ \cdot \sin 3 M' + 0,000\,54^\circ \cdot \sin 4 M'$$

$$W_0 = 0,950\,75^\circ + 0,051\,82^\circ \cdot \cos M' + 0,002\,82^\circ \cdot \cos 2 M'$$

Berechnung der Störung in Länge, Breite und Parallaxe:

Die einzelnen Störungsterme haben alle die Form

$$L_n = C_n \cdot \sin (i \cdot D + j \cdot F + k \cdot M_{\odot} + l \cdot M') \quad n = 1 \text{ bis } 40$$

$$B_n = C_n \cdot \sin (i \cdot D + j \cdot F + k \cdot M_{\odot} + l \cdot M') \quad n = 1 \text{ bis } 28 \text{ und } B_1^{**}$$

$$P_n = C_n \cdot \cos (i \cdot D + j \cdot F + k \cdot M_{\odot} + l \cdot M') \quad n = 1, 2, 7, 8, 6, 9, 10, 11, 14, 15$$

und ergeben sich mit den einzelnen Koeffizienten C_n und den einzelnen Argument-Koeffizienten i, j, k, l aus der beigefügten Tabelle, die besonders auf Taschenrechner zugeschnitten ist. Die Gesamtstörung in Länge bzw. Breite bzw. Parallaxe für einen auf $\pm 0,01^\circ$ genauen Mondort ist die algebraische Summe aller 40 hier gegebenen L_n bzw. aller 29 hier gegebenen B_n bzw. aller 10 hier gegebenen P_n . Einige Störungsterme haben traditionelle Namen:

L_1 Evekation, L_2 Variation, L_3 Jährliche Gleichung, L_{10} Parallaxtische Ungleichheit; B_4 Große Ungleichheit in Breite. In den "Astronomisch-

KOEFFIZIENTEN LÄNGENSTÖRUNG

| | C_n | i | j | k | l |
|-----------------|----------------------------|----|----|----|----|
| L ₁ | +1,274 02 | +2 | 0 | 0 | -1 |
| L ₂ | +0,658 31 | +2 | 0 | 0 | 0 |
| L ₃ | -0,185 60 .e* | 0 | 0 | +1 | 0 |
| L ₄ | -0,114 34 | 0 | +2 | 0 | 0 |
| L ₅ | -0,058 79 | -2 | 0 | 0 | +2 |
| L ₆ | +0,057 21 .e* | +2 | 0 | -1 | -1 |
| L ₇ | +0,053 32 | +2 | 0 | 0 | +1 |
| L ₈ | -0,045 87 .e* | +2 | 0 | -1 | 0 |
| L ₉ | +0,041 01 .e* | 0 | 0 | -1 | +1 |
| L ₁₀ | -0,034 76 | +1 | 0 | 0 | 0 |
| L ₁₁ | -0,030 46 .e* | 0 | 0 | +1 | +1 |
| L ₁₂ | -0,015 33 | -2 | +2 | 0 | 0 |
| L ₁₃ | -0,012 53 | 0 | +2 | 0 | +1 |
| L ₁₄ | -0,010 98 | 0 | +2 | 0 | -1 |
| L ₁₅ | +0,010 68 | +4 | 0 | 0 | -1 |
| L ₁₆ | +0,008 55 | +4 | 0 | 0 | -2 |
| L ₁₇ | -0,007 91 .e* | +2 | 0 | +1 | -1 |
| L ₁₈ | -0,006 78 .e* | +2 | 0 | +1 | 0 |
| L ₁₉ | +0,005 17 | -1 | 0 | 0 | +1 |
| L ₂₀ | +0,005 01 .e* | +1 | 0 | +1 | 0 |
| L ₂₁ | +0,004 05 .e* | +2 | 0 | -1 | +1 |
| L ₂₂ | +0,004 00 | +2 | 0 | 0 | +2 |
| L ₂₃ | +0,003 86 | +4 | 0 | 0 | 0 |
| L ₂₄ | -0,003 66 | -2 | 0 | 0 | +3 |
| L ₂₅ | +0,002 69 .e* | 0 | 0 | -1 | +2 |
| L ₂₆ | +0,002 60 | -2 | -2 | 0 | +1 |
| L ₂₇ | +0,002 40 .e* | +2 | 0 | -1 | -2 |
| L ₂₈ | -0,002 35 | +1 | 0 | 0 | +1 |
| L ₂₉ | +0,002 25 .e* ² | +2 | 0 | -2 | 0 |
| L ₃₀ | +0,002 13 .e* | 0 | 0 | +1 | +2 |
| L ₃₁ | -0,002 08 .e* ² | 0 | 0 | +2 | 0 |
| L ₃₂ | +0,002 06 .e* ² | +2 | 0 | -2 | -1 |
| L ₃₃ | -0,001 77 | +2 | -2 | 0 | +1 |
| L ₃₄ | -0,001 59 | +2 | +2 | 0 | 0 |
| L ₃₅ | +0,001 22 .e* | +4 | 0 | -1 | -1 |
| L ₃₆ | -0,001 11 | 0 | +2 | 0 | +2 |
| L ₃₇ | -0,000 89 | +3 | 0 | 0 | -1 |
| L ₃₈ | -0,000 81 .e* | +2 | 0 | +1 | +1 |
| L ₃₉ | +0,000 76 .e* | +4 | 0 | -1 | -2 |
| L ₄₀ | +0,000 72 .e* ² | 0 | 0 | -2 | +1 |

KOEFFIZIENTEN BREITENSTÖRUNG

| | C_n | i | j | k | l |
|------------------|---------------|----|----|----|----|
| B ₁ * | +5,128 19 | 0 | +1 | 0 | 0 |
| B ₂ | +0,280 61 | 0 | +1 | 0 | +1 |
| B ₃ | +0,277 69 | 0 | -1 | 0 | +1 |
| B ₄ | +0,173 24 | +2 | -1 | 0 | 0 |
| B ₅ | +0,055 41 | +2 | +1 | 0 | -1 |
| B ₆ | +0,046 27 | +2 | -1 | 0 | -1 |
| B ₇ | +0,032 57 | +2 | +1 | 0 | 0 |
| B ₈ | +0,017 20 | 0 | +1 | 0 | +2 |
| B ₉ | +0,009 27 | +2 | -1 | 0 | +1 |
| B ₁₀ | +0,008 82 | 0 | -1 | 0 | +2 |
| B ₁₁ | +0,008 25 .e* | +2 | -1 | -1 | 0 |
| B ₁₂ | +0,004 32 | +2 | -1 | 0 | -2 |
| B ₁₃ | +0,004 20 | +2 | +1 | 0 | +1 |
| B ₁₄ | +0,003 37 .e* | -2 | +1 | -1 | 0 |
| B ₁₅ | +0,002 47 .e* | +2 | +1 | -1 | -1 |
| B ₁₆ | +0,002 22 .e* | +2 | +1 | -1 | 0 |
| B ₁₇ | -0,002 07 .e* | -2 | +1 | +1 | +1 |
| B ₁₈ | +0,001 88 .e* | 0 | +1 | -1 | +1 |
| B ₁₉ | +0,001 83 | +4 | -1 | 0 | -1 |
| B ₂₀ | -0,001 80 .e* | 0 | +1 | +1 | 0 |
| B ₁ * | -0,001 75 | 0 | +3 | 0 | 0 |
| B ₂₁ | +0,001 57 .e* | 0 | -1 | -1 | +1 |
| B ₂₂ | -0,001 49 | +1 | +1 | 0 | 0 |
| B ₂₃ | -0,001 48 .e* | 0 | +1 | +1 | +1 |
| B ₂₄ | +0,001 42 .e* | 0 | +1 | -1 | -1 |
| B ₂₅ | +0,001 35 .e* | 0 | +1 | -1 | 0 |
| B ₂₆ | +0,001 33 | -1 | +1 | 0 | 0 |
| B ₂₇ | +0,001 11 | 0 | +1 | 0 | +3 |
| B ₂₈ | +0,001 02 | +4 | -1 | 0 | 0 |

KOEFFIZIENTEN PARALLAXENSTÖRUNG

| | | | | | |
|-----------------|----------------|----|----|----|----|
| P ₁ | +0,009 531 | +2 | 0 | 0 | -1 |
| P ₂ | +0,007 843 | +2 | 0 | 0 | 0 |
| P ₇ | +0,000 857 | +2 | 0 | 0 | +1 |
| P ₈ | +0,000 533 .e* | +2 | 0 | -1 | 0 |
| P ₆ | +0,000 401 .e* | +2 | 0 | -1 | -1 |
| P ₉ | +0,000 320 .e* | 0 | 0 | -1 | +1 |
| P ₁₀ | -0,000 272 | +1 | 0 | 0 | 0 |
| P ₁₁ | -0,000 264 .e* | 0 | 0 | +1 | +1 |
| P ₁₄ | -0,000 20 | 0 | +2 | 0 | -1 |
| P ₁₅ | +0,000 17 | +4 | 0 | 0 | -1 |

Fortsetzung Referat: Scheinbarer Ort des Mondes

Chronologische Tafeln" von P. Ahnert werden beispielsweise nur die Störungsterme L_1 , L_2 , L_3 und B_4 berücksichtigt.

Für eine Genauigkeit von einigen Zehntelgraden nimmt man nur die ersten L- und B-Terme, für $\pm 1'$ die L-, B- und P-Terme bis zum Querstrich in der Tabelle mit. Um auch gelegentlich schärfere Mondörter verarbeiten zu können, sind einige Parallaxenterme mehr gegeben, als für $\pm 0,01^\circ$ nötig sind.

Geozentrische Ergebnisse:

$$\lambda = L + C + (\text{Summe } L_n)$$

Der Zuwachs beträgt im Mittel $0,549^\circ/\text{h}$ bzw. $0,009^\circ/\text{min}$.

$$\beta = (\text{Summe } B_n) \cdot (1 - 0,000\,466^\circ \cdot \cos \delta - 0,000\,075^\circ \cdot \cos (\delta + N))$$

$$\pi = \pi_0 + (\text{Summe } P_n)$$

$$SD = 0,272\,5^\circ \cdot \pi$$

Mondalter = $(\lambda - \odot) : 12,191$, ergibt sich in Tagen seit letztem Neumond.

$$\odot = L_{\odot} + C_{\odot}$$

$$C_{\odot} = 114,59^\circ \cdot e \cdot \sin M_{\odot} + 71,62^\circ \cdot e^2 \cdot \sin 2 M_{\odot} + e^3 \cdot (62,07^\circ \cdot \sin 3 M_{\odot} - 14,32^\circ \cdot \sin M_{\odot})$$

$$e = 0,016\,751\,0 - 0,418\,0 \text{ EEX-6} \cdot t - 0,126 \text{ EEX-10} \cdot t^2$$

| Mond-Hauptphase | $(\lambda - \odot)$ | Mittleres Alter |
|-----------------|---------------------|-----------------|
| Neumond | 0° | $0,0^d$ |
| Erstes Viertel | 90° | $7,4$ |
| Vollmond | 180° | $14,8$ |
| Letztes Viertel | 270° | $22,1$ |
| Neumond | 360° | $29,5$ |

2) Topozentrischer Ort

Der Unterschied zwischen geozentrischem und topozentrischem Mondort kann etwas mehr als 1° erreichen, das sind rund zwei Vollmonddurchmesser!

Es bedeutet zusätzlich:

φ' Geozentrische Breite des Beobachtungsortes

φ Geographische Breite des Beobachtungsortes

A Azimut, gezählt im Sinn NOSW von N, geozentrisch

H Höhe, geozentrisch

λ Sternzeit am Beobachtungsort λ_0 für 0^h UT, Greenwich

α Rektaszension, geozentrisch

δ Deklination, geozentrisch

A' , H' , α' , δ' SD' bedeuten die parallaktisch veränderten Werte.

Die folgenden Formeln gewährleisten beim Mond Fehler unter $\pm 0,001^\circ$ und gelten für eine Erdabplattung von $1/298,257$.

Fortsetzung Referat: Scheinbarer Ort des Mondes

$$\varphi' = \arctan (0,993\ 305\ 6 \cdot \tan \varphi)$$

$$\mathcal{L}_0 = 6h38m45,836s + 86\ 401,845\ 42 \cdot t' + 0,929\ \text{EEX-5} \cdot t'^2 +$$

+ Äquinoktiengleichung. Letztere hier vernachlässigbar.

$$t' = (\text{JD für 0h UT des Datums} - 2\ 415\ 020,000\ 000) : 365,25$$

$$\mathcal{L} = (T_z + L_z) : 0,997\ 269\ 566\ 4 + \mathcal{L}_0 - L$$

T_z Zonenzeit, L_z geographische Länge des Zonenmeridians und L geographische Länge des Beobachtungsortes. Westliche/Östliche geographische Längen positiv/negativ.

Topozentrische horizontale Koordinaten:

$$V = \cos A \cdot \cos H + \sin \pi \cdot \sin (\varphi - \varphi')$$

$$A' = \arctan ((\sin A \cdot \cos H) : V)$$

$$H' = \arctan ((\cos A' \cdot \sin H - \cos A' \cdot \sin \pi \cdot \cos (\varphi - \varphi')) : V)$$

$$SD' = \arcsin ((\cos A' \cdot \cos H' \cdot \sin SD) : V)$$

Topozentrische äquatoreale Koordinaten:

$$V = \cos \alpha \cdot \cos \delta - \sin \pi \cdot \cos \mathcal{L} \cdot \cos \varphi'$$

$$\alpha' = \arctan ((\sin \alpha \cdot \cos \delta - \sin \pi \cdot \sin \mathcal{L} \cdot \cos \varphi') : V)$$

$$\delta' = \arctan ((\cos \alpha' \cdot \sin \delta - \sin \pi \cdot \cos \alpha' \cdot \sin \varphi') : V)$$

$$SD' = \arcsin ((\cos \alpha' \cdot \cos \delta' \cdot \sin SD) : V)$$

Topozentrische ekliptikale Koordinaten:

$$V = \cos \lambda \cdot \cos \beta - \sin \pi \cdot \cos \varphi' \cdot \cos \mathcal{L}$$

$$\lambda' = \arctan ((\sin \lambda \cdot \cos \beta - \sin \pi \cdot \sin \varphi' \cdot \sin \varepsilon -$$

 $- \sin \pi \cdot \cos \varphi' \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \mathcal{L}) : V)$

$$\beta' = \arctan ((\cos \lambda' \cdot \sin \beta - \cos \lambda' \cdot \sin \pi \cdot \sin \varphi' \cdot \cos \varepsilon +$$

 $+ \cos \lambda' \cdot \sin \pi \cdot \cos \varphi' \cdot \sin \varepsilon \cdot \sin \mathcal{L}) : V)$

$$SD' = \arcsin ((\cos \lambda' \cdot \cos \beta' \cdot \sin SD) : V)$$

Transformation ekliptikaler in äquatoreale Koordinaten:

Hier genügt die mittlere Ekliptikschiefe $\bar{\varepsilon}$:

$$\bar{\varepsilon} = 23,452^\circ - 0,130\ 13\ \text{EEX-3} \cdot t - 0,164\ \text{EEX-9} \cdot t^2 + 0,50\ \text{EEX-12} \cdot t^3$$

$$x = \cos \beta \cdot \cos \lambda$$

$$y = \cos \beta \cdot \sin \lambda \cdot \cos \varepsilon - \sin \beta \cdot \sin \varepsilon$$

$$z = \cos \beta \cdot \sin \lambda \cdot \sin \varepsilon + \sin \beta \cdot \cos \varepsilon$$

$$\chi = \arctan (y : x)$$

$$\delta = \arctan (z : \sqrt{x^2 + y^2})$$

Diese Formeln sind auch auf topozentrische Koordinaten anwendbar.

3) Anwendung von programmierbaren Taschenrechnern

Für die Berechnung der ungestörten Elemente ergibt sich der Algorithmus durch die Formeln selbst. L_{00} braucht nicht explizit gespeichert zu werden. Anstelle von T_1 empfiehlt es sich, den Wert $\sin T_1$ bzw. an-

Fortsetzung Referat: Scheinbarer Ort des Mondes

stelle von T_2 den Wert $0,003\ 96 \cdot \sin T_2$ zu speichern, da diese Werte nur in dieser Form vorkommen.

Zur Berechnung der gestörten Elemente empfiehlt es sich, die Speicherarithmetik zu verwenden. Einige Störungsterme kommen mehrfach vor, diese sind sofort zu den entsprechenden Elementen zu addieren, z.B. die Terme $0,003\ 96 \cdot \sin T_2$ oder $0,002\ 02 \cdot \sin \beta$.

Zur Berechnung der Längen- Breiten- und Parallaxenstörungen kann man die Algorithmen 1 oder 2 verwenden. Die Störungen reiht man dazu zweckmäßigerweise folgendermaßen:

- a) Zuerst berechnet man solche Terme, die mit e^2 bzw. e multipliziert werden müssen, wobei die Multiplikation nach vorheriger Summenbildung in einem einzigen Schritt erfolgt.
- b) Man wählt die Reihenfolge so, daß sich die Koeffizienten i, j, k, l und damit auch der Ausdruck $(i.D + j.F + k.M_0 + l.M')$ nur langsam verändern, damit weniger Programmschritte gebraucht werden.

Ich wählte die Reihenfolge so:

Längenstörungen:

29 - 32 - 40 - 31 - 3 - 11 - 9 - 21 - 27 - 38 - 18 - 17 - 6 -
 8 - 25 - 30 - 20 - 35 - 39 - 16 - 15 - 23 - 4 - 13 - 14 - 34 -
 12 - 5 - 24 - 19 - 28 - 33 - 26 - 36 - 37 - 10 - 2 - 1 - 22 - 7

Breitenstörungen:

11 - 15 - 16 - 18 - 21 - 24 - 25 - 23 - 20 - 17 - 14 - 7 - 5 -
 13 - 2 - 1* - 8 - 27 - 22 - 26 - 1** 3 - 10 - 9 - 4 - 12 -
 6 - 19 - 28

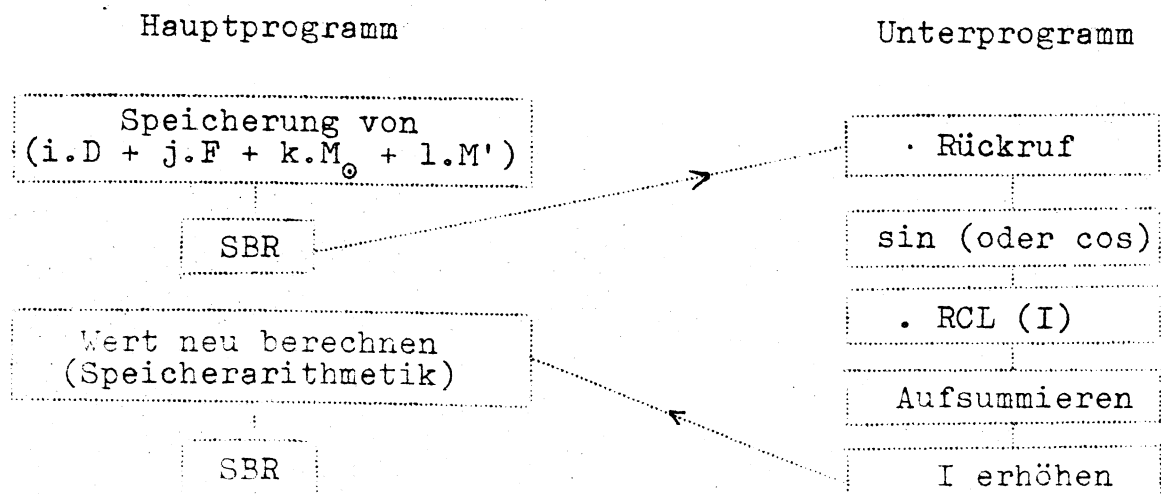
Parallaxenstörungen:

8 - 6 - 9 - 11 - 7 - 1 - 2 - 10 - 14 - 15

Nach Beendigung der Störungsrechnung berechnet man die Ergebnisse streng nach den angegebenen Formeln.

Algorithmen zur Realisierung der Störungsrechnung:

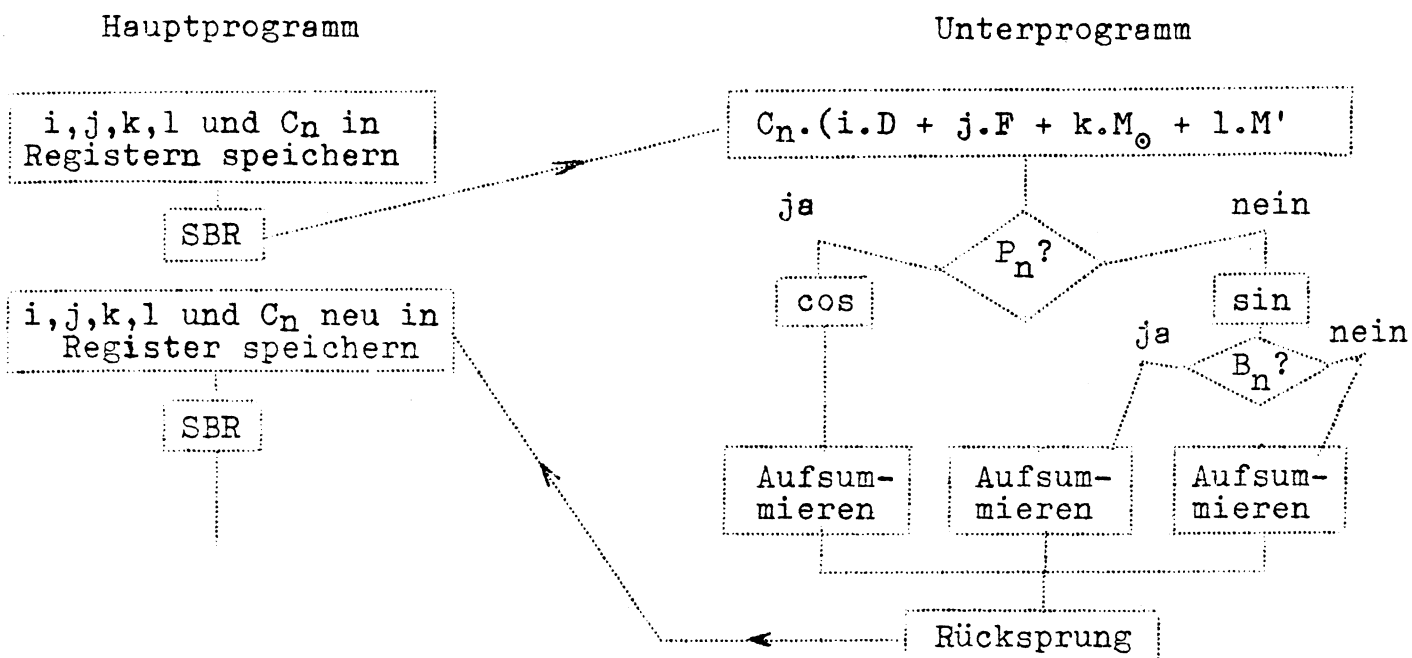
Algorithmus 1



Fortsetzung Referat: Scheinbarer Ort des Mondes

Die C_n stehen in hintereinander liegenden Speicherzellen (Datenkarte), daher indirekte Adressierung. Für jede Störung ist ein eigenes Programm (auf verschiedenen Karten) vorgesehen.

Algorithmus 2



4) Beispiel

Infolge der begrenzten Stellenzahl können besonders in der geozentrischen Länge Ungenauigkeiten auftreten, z.B. bei den Taschenrechnern TI 59 und HP 67/97 bis zu $\pm 0,02^\circ$; infolge unterschiedlicher interner Rechengenauigkeit treten zwischen den Ergebnissen dieser beiden Rechner Unterschiede von einigen Tausendstelgraden auf. Obige Formeln entsprechen also diesen Taschenrechnern reichlich.

Mondort für +1981 04 09, 18^hUT, Urania Sternwarte ($-1^{\text{h}}05^{\text{m}}33^{\text{s}}/+48^\circ 12,7'$)

| | | |
|-------------------------------|---|---|
| JD = 2 444 704,250 UT | SD = 0,269° | $\alpha' = 5^{\text{h}}49,5^{\text{m}}$ |
| $\Delta T = 0,001^{\text{d}}$ | $\alpha = 5^{\text{h}}51,2^{\text{m}}$ | $\delta' = +19^\circ 39'$ |
| JD = 2 444 704,251 ET | $\delta = +20^\circ 10'$ | SD' = 0,273° |
| $\lambda = 87,92^\circ$ | $\bar{\epsilon} = 23,44^\circ$ | Sowjetisches Jahrbuch: |
| $\beta = -3,25^\circ$ | $\alpha_0 = 13^{\text{h}}08,6^{\text{m}}$ | $\alpha = 5^{\text{h}}51,1^{\text{m}}$ |
| $\pi = 0,986^\circ$ | $\alpha = 8^{\text{h}}17,3^{\text{m}}$ | $\delta = +20^\circ 10'$ |

Literatur: Sternfreunde-Seminar 1977, Astro-Verein und Wr. Planetarium.
 Explanatory Supplement to the Astronomical Ephemeris, London.
 Astronomisches Jahrbuch der UdSSR für 1981, Leningrad.

Gastvortrag: Die Libration des Mondes.

Beim Mond gibt es die optische (geometrische) und die physische Libration.

- A) Bekanntlich dreht uns der Mond dauernd dieselbe Seite zu; doch treten dabei Verschiebungen auf, so daß manchmal Randgebiete deutlicher sichtbar werden. Dadurch werden im gesamten 59% der Mondoberfläche von der Erde aus sichtbar. Diese optische Libration hat dreierlei Ursachen:

Erstens bewegt sich der Mond ungleichmäßig in seiner Bahn, die Rotation ist aber gleichmäßig. Dies bewirkt eine Verschiebung des Mondmittelpunktes bis zu 8° .

Zweitens ist die Mondbahn um 5° gegen die Ekliptik geneigt (mit rascher Änderung des Knotens einmal in 18 Jahren herum), die Mondachse aber um $1,5^{\circ}$ in der Gegenrichtung, so daß sich in Breite die Mondmitte um $6,5^{\circ}$ verschiebt.

Drittens beobachtet man nicht von der Erdmitte, sondern von einem Punkt der Erdoberfläche, wodurch eine weitere Verschiebung der Mondmitte um die Mondparallaxe (etwa 1°) möglich ist.

Diese optische Libration ist ziemlich einfach zu berechnen (siehe diesbezügliches Referat).

- B) Nun bewirkt aber die Anziehung der Erde durch gezeitenartige Kräfte, daß die mittleren Gebiete des Mondes weiter in die Mitte gezogen werden als dies nach der Theorie der optischen Libration der Fall ist. Dies ergibt die physische Libration. Die Theorie dieser physischen Libration ist aber ziemlich kompliziert, da dabei Schwingungsprobleme mit resonanzartigen Erscheinungen auftreten, die auch weitgehend von den Trägheitsmomenten des Mondkörpers abhängen.

Dabei ist diese physische Libration ziemlich klein, nahe an der möglichen Genauigkeit der Messung (selenozentrisch wenige Bogenminuten).

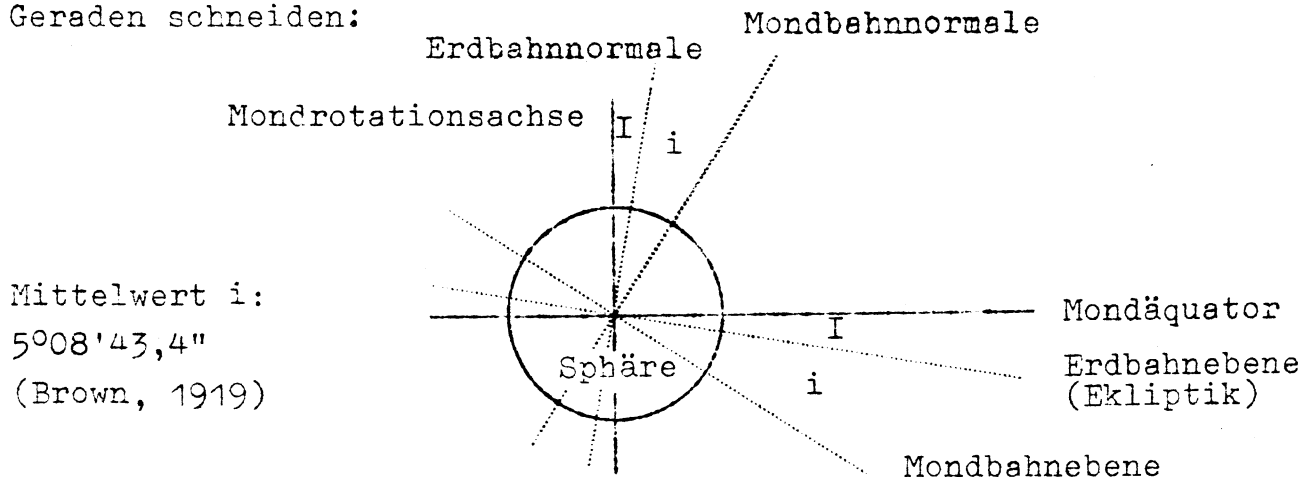
Um diese physische Libration bemühten sich namhafte Gelehrte, so im 19. Jahrhundert Wichmann, dann am Anfang des 20. Jahrhunderts Hayn in Leipzig und später Koziel in Krakau und die Astronomen in Kasan an der Wolga.

Univ.-Prof. Dr. Guntram Schrutka-Rechtenstamm
Cottagegasse 56
A-1190 Wien

Referat: Rotation und Libration des Mondes.

Die Mondrotation wurde 1693 von Giovanni Domenico Cassini (1625-1712, Direktor der Pariser Sternwarte) in drei Gesetzen beschrieben. Diese "Cassini'schen Gesetze" lauten:

- 1) Der Mond dreht sich rechtläufig mit (fast) konstanter Winkelgeschwindigkeit in einem siderischen Monat ($27^d07^h43^m11,5^s$ im Mittel für 1900) um eine Achse.
- 2) Die Rotationsachse des Mondes bildet mit der Normalen auf die Ekliptik den Winkel I ($1^{\circ}32'01'' \pm 7''$; Koziel, 1967)
- 3) Die Rotationsachse des Mondes, die Normale auf die Ekliptik und die Normale auf die Bahnebene des Mondes um die Erde liegen in einer Ebene; das bedeutet, daß sich die Ebene der Mondbahn, des Mondäquators und der Erdbahn (Ekliptik) stets in ein und derselben Geraden schneiden:



Mondachse, Mond- und Erdbahnnormale liegen in der Zeichenebene!

Die Lage des Mondkörpers, der Mondbahn und der Erdbahn zu einander werden an einem Raummodell erläutert. Es zeigt sich, daß Umlaufzeit und Achsneigung in hohem Grade konstant sind.

Bei der Beobachtung des Mondes erkennen wir, daß er der Erde immer die gleiche Seite zuwendet; verfeinern wir die Beobachtung, so stellt sich heraus, daß wir im Laufe der Zeit mehr als 50%, genau 59%, der Mondoberfläche von der Erde aus sehen können. Dieses scheinbare "Schwanken" des Mondkörpers zur irdischen Blickrichtung nennt man Libration. Wir wollen sie ihren Anteilen nach beschreiben.

Geometrische Libration (entsprechend der Geometrie Rotation/Umlauf):

- 1) Libration in Länge. Ergibt sich aus der Exzentrizität der Mondbahn. Nach dem 2. Kepler'schen Gesetz verändert sich die Bewegungsgeschwindigkeit des Mondes in seiner Bahn von einem Maximum in

Fortsetzung Referat: Rotation und Libration des Mondes.

Erdnähe bis zu einem Minimum in Erdferne. Infolge der gleichmäßigen Mondrotation muß sich daher eine Verschiebung der Oberflächenstrukturen des Mondes gegenüber seinem Scheibenumriß und gegenüber seiner Scheibenmitte ergeben, die bis zu $\pm 7^{\circ}57'$ in Länge ausmachen kann. Um soviel können wir also manchmal "hinter den West- oder Ostrand" schauen.

- 2) Libration in Breite. Ergibt sich aus der Neigung der Ebene des Mondäquators zur Ebene der Mondbahn, $I + i = 6^{\circ}40'44''$ im Mittel. In Breite kann dies bis zu $\pm 6^{\circ}51'$ ausmachen. Um soviel können wir also manchmal "hinter den Nord- oder Südpol" schauen.
- 3) Parallaktische Libration. Ergibt sich durch Betrachtung des Mondkörpers nicht vom Erdmittelpunkt, sondern von einem Oberflächenpunkt der Erde und entspricht deshalb der Horizontalparallaxe des Mondes ($0^{\circ}57'02,7''$ im Mittel). Die parallaktische Libration hat Komponenten sowohl in selenographischer Länge als auch in selenographischer Breite und überlagert die Libration in Länge und Breite sowie die dynamische Libration.

Infolge von Störungen gelten die Cassini'schen Gesetze nur im Mittel, jedoch sind die Abweichungen sehr klein und überschreiten im allgemeinen $2'$ in den selenographischen Koordinaten (siehe diesbezügliches Referat) nicht. Von der Erde aus gesehen, macht dies nur $0,54''$ aus! Diese über die geometrischen Librationsanteile hinausgehenden kleinen Verschiebungen heißen dynamische Libration (siehe diesbezüglichen Gastvortrag); auch hier gibt es Komponenten in Länge und Breite. Geometrische und dynamische Libration finden sich in ihrem gemeinschaftlichen Längenbetrag L und Breitenbetrag B im "Österreichischen Himmelskalender", Abschnitt "Mondrotation".

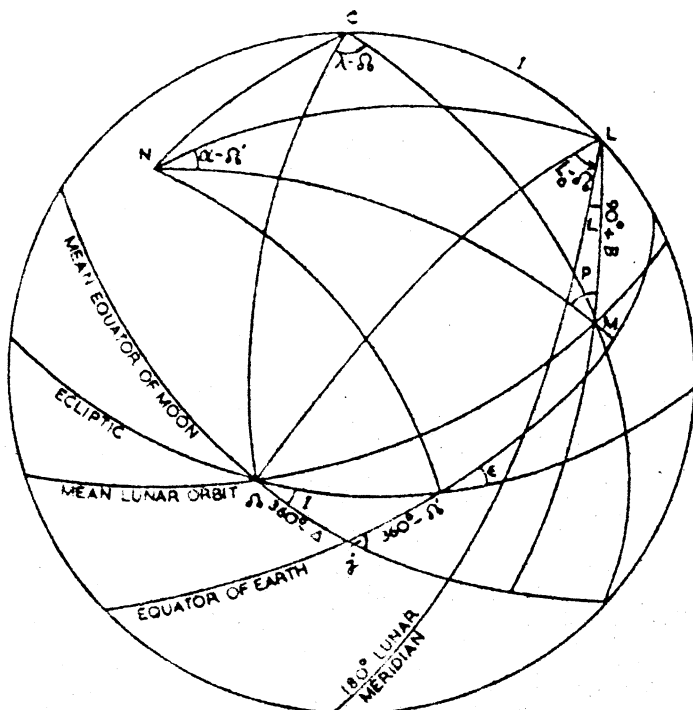
Einen vorzüglichen Überblick über die Auswirkung der Libration auf verschiedene Punkte der Mondoberfläche gibt die "Librations-Mondkarte" von A. Rühl. Diese Karte gab erstmals die Möglichkeit, 70 Formationen der Mondoberfläche jeweils librationsrichtig darzustellen. Ein Teil der im "Sternfreunde-Seminar 1979" wiedergegebenen und beschriebenen Karte findet sich auch hier als Beigabe dieses Referates. Man legt ein Blatt Pauspapier über die Karte und trägt den aus dem Himmelskalender entnommenen oder berechneten Wert L und B in das jeweilige Librationsnetz der Formation ein, dessen Ecken $L = \pm 5^{\circ}$ und $B = \pm 5^{\circ}$ besitzen. Der librationsrichtige Punkt hat also in den Librationsnetzen der Formationen jeweils die "Koordinaten" L und B . Wir sehen, daß sich die Libration am stärksten in der Scheibenmitte auswirkt.

Fortsetzung Referat: Rotation und Libration des Mondes.

Berechnung der geometrischen Libration und des Positionswinkels des Mondnordpols für die Erdmitte.

- λ Scheinbare ekliptikale Länge der Mondmitte, geozentrisch
- β Scheinbare ekliptikale Breite der Mondmitte, geozentrisch
- α Scheinbare Rektaszension der Mondmitte, geozentrisch
- δ Scheinbare Deklination der Mondmitte, geozentrisch
- ε Scheinbare Ekliptikschiefe; $\bar{\varepsilon}$ Mittlere Ekliptikschiefe
- L_0 Mittlere Länge des Mondes, gemessen in der Ekliptik vom Frühlingspunkt bis zum aufsteigenden Knoten der Mondbahn und von dort in der Mondbahn bis zur Mondmitte.
- Ω Mittlere Länge des aufsteigenden Knotens der Mondbahn
- j Winkel zwischen mittlerem Mondäquator und wahren Erdäquator
- P Positionswinkel des Mondnordpols, gezählt im Sinn NOSW
- N Nutation in Länge
- Δ Winkel zwischen den Schnittpunkten des Mondäquators mit dem Erdäquator und mit der Ekliptik.
- A, E, μ Hilfsgrößen
- L Geometrische Libration in Länge für die Erdmitte
- B Geometrische Libration in Breite für die Erdmitte

Die dem "Explanatory Supplement to the Astronomical Ephemeris" entnommene Darstellung der Himmelskugel für den Mond erläutert die genannten Größen und ihre gegenseitige Beziehung:



- C Nordpol der Ekliptik
- N Himmelsnordpol (Erde)
- L Himmelsnordpol (Mond)
- M Geozentr. Mondort
- $NM = 90^\circ - \delta$
- $CM = 90^\circ - \beta$
- $NL = j$

Fortsetzung Referat: Rotation und Libration des Mondes.

λ, β werden entweder aus Jahrbüchern entnommen oder aus den dort jedenfalls vorzufindenden α, δ transformiert, wenn man nicht vorzieht, sie nach dem Referat "Scheinbarer Ort des Mondes" zu berechnen.

Transformation von äquatorealen in ekliptikale Koordinaten:

$$x = \cos \delta \cdot \cos \alpha$$

$$y = \cos \delta \cdot \sin \alpha \cdot \cos \epsilon + \sin \delta \cdot \sin \epsilon$$

$$z = \sin \delta \cdot \cos \epsilon - \cos \delta \cdot \sin \alpha \cdot \sin \epsilon$$

$$\tan \lambda = y : x \quad \tan \beta = z : \sqrt{x^2 + y^2}$$

$\Delta T, \bar{\epsilon}, L_0$ und δ_0 ergeben sich aus Polynomen der Form

$$c_0 + c_1 \cdot T + c_2 \cdot T^2 + c_3 \cdot T^3$$

worin T die seit 1900 01 00, 12hET verflossene Zeit in julianischen Jahrhunderten zu 36525 Ephemeridentagen bedeutet. ΔT ist der Unterschied zwischen der gleichförmigen Ephemeridenzeit ET und der ungleichförmigen Weltzeit UT, $\Delta T = ET - UT$; $ET = UT + \Delta T$.

$T = (JD - 2\,415\,020,000) : 36\,525$. JD Termin in der Jul.Periode.

| | c_0 | c_1 | c_2 | c_3 |
|------------------|----------------------|---------------|-------------|-------------|
| ΔT | 0,000 3 ^d | 0,000 84 | 0,000 346 6 | |
| $\bar{\epsilon}$ | 23,45° | -0,013 0 | -0,000 002 | 0,000 000 5 |
| L_0 | 270,43° | 481 267,883 1 | -0,001 133 | 0,000 001 9 |
| δ_0 | 259,18° | -1 934,142 0 | 0,002 078 | 0,000 002 2 |

$$\cos j = \cos I \cdot \cos \epsilon + \sin I \cdot \sin \epsilon \cdot \cos (\delta_0 + N)$$

$$\sin \Delta = - \sin \epsilon \cdot \sin (\delta_0 + N) : \sin j$$

$$\tan E = - \tan I \cdot \sin (\lambda - \delta_0)$$

$$B = E - \beta$$

$$\mu = 0,0103^\circ \cdot \sin 2(\lambda - \delta_0)$$

$$A = \sin I \cdot \cos (\lambda - \delta_0)$$

$$L = \lambda + \mu + A \cdot B - L_0 - N$$

$$\sin P = \sin j \cdot \cos (L + \Delta + L_0 - \delta_0) : \cos \delta$$

Auch P kann Jahrbüchern, z.B. dem Himmelskalender, entnommen werden. Ist L positiv/negativ, sieht man sonst unsichtbare Gegenden am westlichen/östlichen Rand; ist B positiv/negativ, sieht man sonst unsichtbare Gegenden am nördlichen/südlichen Rand. Mondkarten werden gewöhnlich für L=B=0 gezeichnet.

Beispiel: L,B,P für 1981 04 09, 18^hET = JD 2 444 704,251 ET

| | | | |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------|
| $\alpha = 5h51,1m$ | $\beta = -3,26^\circ$ | $P = 0,3^\circ$ | $\mu = -0,01^\circ$ |
| $\delta = +20^\circ 40'$ | $L_0 = 81,89^\circ$ | $\Delta = -50,02^\circ$ | $L = +6,1^\circ$ |
| $\bar{\epsilon} = 23,44^\circ$ | $\delta_0 = 127,28^\circ$ | $A = 0,02$ | $B = +4,2^\circ$ |
| $\lambda = 87,31^\circ$ | $j = 24,40^\circ$ | $E = 0,97^\circ$ | $N = 0$ |

Das Jahrbuch der UdSSR gibt für L,B und P dieselben Werte.

Literatur

Explanatory Supplement to the Astronomical Ephemeris, H.M.Stationery Office, London 1961.

Z.Kopal, R.W.Carder, Mapping of the Moon - Past and Present. D.Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland 1974.

K.Graff, Formeln und Hilfstafeln zur Reduktion von Mondbeobachtungen und Mondphotographien. Veröffentlichungen des Königlichen Astronomischen Recheninstituts zu Berlin, Nr.14, F.Dümmeler, Berlin 1901.

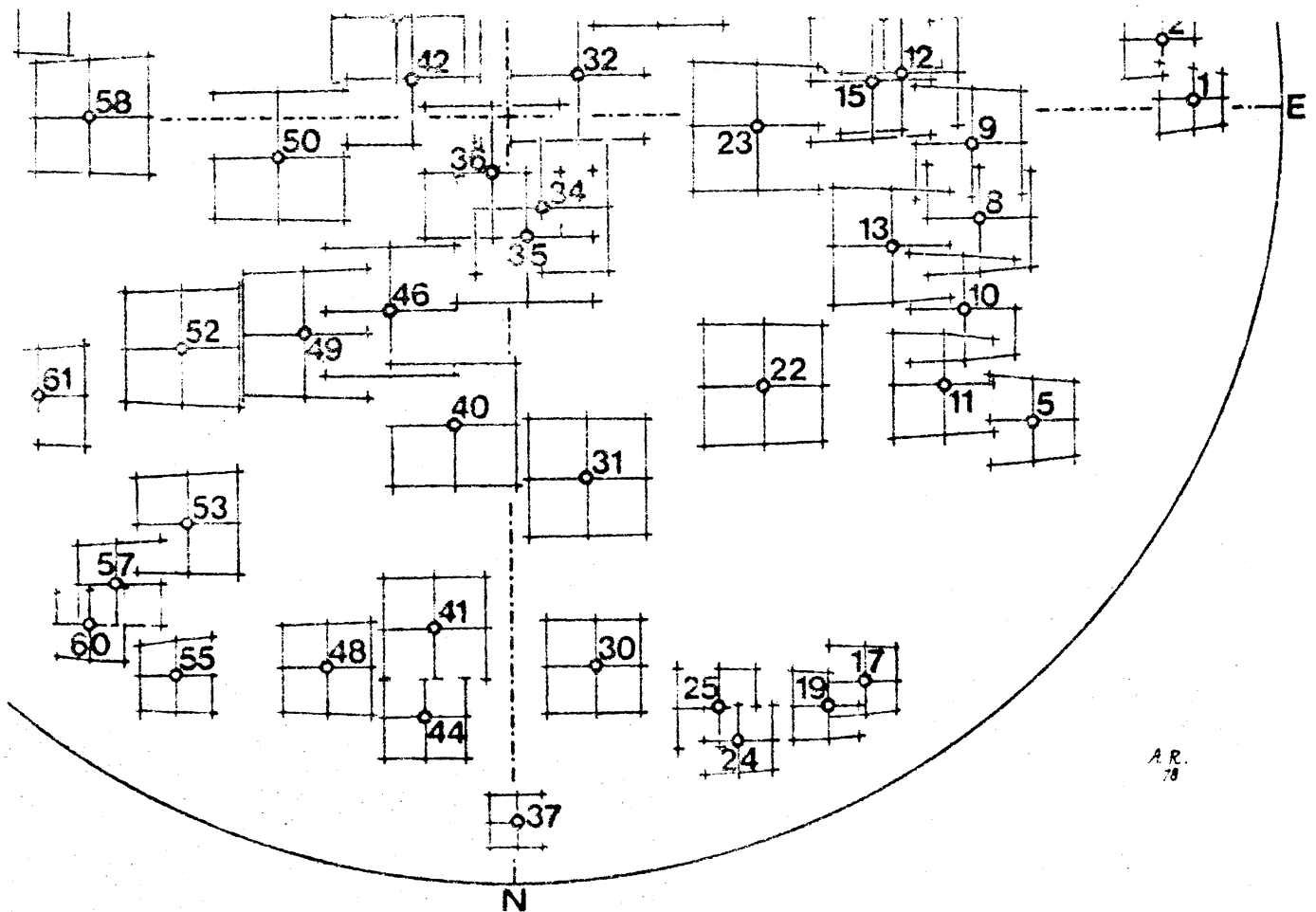
Sternfreunde-Seminar 1974 und 1977, Astronomischer Verein und Wiener Planetarium, Wien 1974 und 1977.

J.Dick, Grundtatsachen der Sphärischen Astronomie, 2.Aufl., J.A.Barth, Leipzig 1965.

Hütte, Mathematische Formeln und Tafeln, W.Erst und Sohn, Berlin 1959.

H.Mucke, Himmelskalender 1981

Beigabe: Ausschnitt aus der Librations-Mondkarte von A.Rükl



A.R.
78

Referat: Selenographische Koordinaten.

Definitionen:

Der Mondäquator ist die Ebene **normal** zur Mondrotationsachse, die durch die Mondmitte geht. Die selenographische Breite wird vom Mondäquator aus in der Hälfte, die das Mare Serenitatis enthält, positiv (nördlich) gezählt. Die selenographische Länge wird von der scheinbaren, geozentrischen Mondmitte aus zur Zeit der Libration $L=B=0$ (Nullibration) in der Mondhälfte, die das Mare Crisium enthält, positiv (östlich) gezählt.

Diese sogenannte "astronautische" Definition der selenographischen Länge ist erst seit einem Beschluß der IAU im Jahre 1961 offiziell; in älteren Mondkarten wurde Ost und West am Mond so festgelegt, wie man ihn von der Erde aus mit freiem Auge beobachten kann, also Westen in der Mondhälfte, die das Mare Crisium enthält und die dem irdischen Westhorizont zugekehrt ist.

Symbole:

- α Rektaszension geozentrisch
- δ Deklination geozentrisch
- π Äquatoreal-Horizontalparallaxe, geozentrisch
- π' Höhenparallaxe, topozentrisch
- φ Geographische Breite des Beobachtungsortes
- φ' Geozentrische Breite des Beobachtungsortes
- α Sternzeit am Beobachtungsort
- L Libration in Länge, geozentrisch
- B Libration in Breite, geozentrisch
- P Positionswinkel des Mondnordpols, geozentrisch
- L', B', P' topozentrische Werte von L, B, P
- SD' Winkelhalbmesser des Mondes, topozentrisch
- r Abstand Mondmitte-Erdmitte in Einheiten des Erdhalbmessers
- r' Abstand Mondmitte-Beobachtungsort in Einheiten wie bei r
- f Geozentrische Zenitdistanz des Mondes
- l Selenographische Länge
- b Selenographische Breite
- f, Q, U, u Hilfsgrößen
- x Gemessene Rektaszensionsdifferenz Formation-Mondscheibenmitte, in Einheiten des Mondhalbmessers, positiv zum Mare Crisium
- y Gemessene Deklinationsdifferenz Formation-Mondscheibenmitte, in Einheiten des Mondhalbmessers, positiv zum Mare Serenitatis.

Fortsetzung Referat: Selenographische Koordinaten

1) Topozentrische Libration

$$\begin{aligned} \varphi' &= \arctan (0,993\ 305\ 6 \cdot \tan \varphi) \\ \delta &= \arccos (\sin \varphi' \cdot \sin \delta + \cos \varphi' \cdot \cos \delta \cdot \cos (\lambda - \alpha)) \\ Q &= \arcsin (\cos \varphi' \cdot \sin (\lambda - \alpha) : \sin \delta) \\ \pi' &= \pi \cdot (\sin \delta + 0,008\ 4 \cdot \sin 2\delta) \\ B' &= B + \pi' \cdot \cos (Q - P) \\ L' &= L - \pi' \cdot \sin (Q - P) : \cos B \\ P' &= P + (L' - L) \cdot \sin B' - \pi' \cdot \sin Q \cdot \tan \delta \end{aligned}$$

Beispiel:

1981 04 09, 18^hET, JD = 2 444 704,251, Wiener Urania-Sternwarte (-1h05m33s / +48°13').

| | | | |
|--|---|--------------------------|---------------------|
| $\alpha = 5^{\text{h}}51,1^{\text{m}}$ | $B = +4,2^{\circ}$ | $Q = +37,82^{\circ}$ | $L' = +5,7^{\circ}$ |
| $\delta = +20^{\circ}0'$ | $P = -0,3^{\circ}$ | $\delta = 40,45^{\circ}$ | $P' = 0,1^{\circ}$ |
| $\pi = 0,99^{\circ}$ | $\lambda = 8^{\text{h}}17,1^{\text{m}}$ | $\pi' = 0,65^{\circ}$ | |
| $L = +6,1^{\circ}$ | $\varphi' = +48,02^{\circ}$ | $B' = +4,7^{\circ}$ | |

2) Absolute Bestimmung der selenographischen Koordinaten

Die Bestimmung der selenographischen Koordinaten einer Formation kann entweder visuell am Fernrohr mit einem Mikrometer oder durch Ausmessung photographischer Aufnahmen erfolgen.

In beiden Fällen muß zunächst die Orientierung des $x, y (= \alpha, \delta)$ - Koordinatensystems gewonnen werden. Dies kann mittels der täglichen Bewegung äquatornaher Sterne geschehen: Visuell richtet man den einen Mikrometerfaden nach der täglichen Bewegung eines solchen Sternes aus, photographisch macht man eine Zweitbelichtung von Strichspuren solcher Sterne auf die Mondaufnahme.

Auf eine solche Zweitbelichtung kann verzichtet werden, wenn man die x, y - Werte von Mondformationen mit bekannten selenographischen Koordinaten (aus Katalogen oder aus guten Mondkarten, z.B. Rühl-Karte) berechnet und dazu verwendet, das Koordinatensystem in die Mondaufnahme einzumessen. Dies geschieht nach folgenden Formeln:

$$\begin{aligned} r &= 1 : \sin \pi \\ r' &= (r - \cos \delta) : \cos \pi' \\ SD' &= \arcsin (0,272\ 5 : r') \\ Q &= -B' + \arctan (\tan b : \cos (l - L')) \\ U &= -P' + \arctan (\tan (l - L') \cdot \cos (Q + B') : \sin Q) \\ u &= \arctan (\tan Q : \cos (P' + U)) \\ f &= \sin (u + SD' \cdot \sin u) \\ x &= f \cdot \sin U \\ y &= f \cdot \cos U \end{aligned}$$

) damit können die Koordinatenachsen gewonnen werden.

Fortsetzung Referat: Selenographische Koordinaten

Nach Festlegung der Koordinatenachsen nach einer der oben beschriebenen Methoden können nun die x, y - Werte für die zu bestimmenden Formationen gemessen werden und mit den folgenden Formeln in l, b umgesetzt werden:

$$r = 1 : \sin \pi$$

$$r' = (r - \cos f) : \cos \pi'$$

$$SD' = \arcsin (0,2725 : r')$$

$$U = \arcsin (x : y)$$

$$|f| = \sqrt{x^2 + y^2} \quad ; \quad f \text{ ist positiv, wenn } y \cdot \cos U \text{ positiv oder Null ist;} \\ f \text{ ist negativ, wenn } y \cdot \cos U \text{ negativ ist.}$$

$$u = -f \cdot SD' + \arcsin (f)$$

$$Q = \arcsin (\tan u \cdot \cos (P' + U))$$

$$l = L' + \arcsin (\tan (P' + U) \cdot \sin Q : \cos (Q + B'))$$

$$b = \arcsin (\cos (l - L') \cdot \tan (Q + B'))$$

Diese Formeln geben nur dann sinnvolle Resultate, wenn die betreffende Formation auf der Mondkugel nicht weiter als 80° von der Mitte der Mondscheibe absteht.

Beispiel:

1981 03 13, 19^hET, JD = 2 444 677,292, Wiener Urania-Sternwarte (-1h05m33s / + 48°13'), Mondaufnahme von Herrn Hans Paul mit Doppelfernrohr, Refraktor HA 15/300cm, vergrößert auf Monddurchmesser 2 SD' = 246,0 mm.

| | | | |
|---------------------------|---------------------|-------------------|------------------------|
| $\delta = 6^h 19,9^m$ | $B' = +5,4^\circ$ | $Q = 17,66^\circ$ | Krater Apianus: |
| $\alpha = 6^h 09,4^m$ | $L' = +5,5^\circ$ | $U = 31,72^\circ$ | $x = +0,052 8$ |
| $\delta = +20^\circ 15'$ | $P' = 2,1^\circ$ | $u = 20,97^\circ$ | $y = -0,518 7$ |
| $\pi = 0,970^\circ$ | $SD' = 0,272^\circ$ | $f = 0,359 3$ | $l = +7,7^\circ$ |
| $\varphi' = +48,02^\circ$ | Krater Bessel: | $x = +0,188 6$ | $b = -26,7^\circ$ |
| $\delta = 27,86^\circ$ | $l = +17,9^\circ$ | $y = +0,305 7$ | $l = +7,8^\circ$ Karte |
| $\pi' = 0,460^\circ$ | $b = +21,7^\circ$ | Daraus Achsen. | $b = -27,0$ Karte |

Weil der wichtige Punkt mit den selenographischen Koordinaten $0^\circ W$, $0^\circ N$, der selenographische Nullpunkt, nicht durch einen besonderen Krater oder eine andere deutliche Formation am Mond markiert ist, wählt man als Ausgangspunkt für Messungen eine Formation in dessen Nähe. Tobias Mayer, der Vater der Selenographie, verwendete zu diesem Zweck den Zentralberg des Kraters Manilius. Auch Bouvard und Pécuchet folgten seinem Beispiel; seit Bessel aber wird der kleine Krater Mösting A, dessen Koordinaten von Koziel (1967) zu

$$l = 5^\circ 09' 53'' W \quad \text{und} \quad b = 3^\circ 10' 41'' S$$

bestimmt wurden, dazu verwendet.

Heutzutage werden allerdings kaum noch Positionsbestimmungen nach

Fortsetzung Referat: Selenographische Koordinaten

Beobachtungen von der Erde ausgeführt. Die unbemannten Lunar Orbiter - Sonden und die bemannten Apollo - Kapseln waren imstande, weit umfangreicheres und genaueres Material zur Verfügung zu stellen. Hierbei wurden Mondaufnahmen von den Raumkapseln aus gemacht und photogrammetrisch ausgewertet. Die benötigten Daten der Raumsonden-Positionen wurden durch Radarbeobachtungen von der Erde und von der Kapsel aus erhalten. Die Aufnahmewinkel der Kameras wurden durch Sternbeobachtungen ermittelt. Mehrere solcherart erhaltene Aufnahmen samt zugehöriger Daten gestatten die Vermessung der einzelnen Felder.

Historisches:

Julius Franz (1847-1913) verwendete die Krater Aristarch, Byrgius A, Fabricius K, Gassendi, Macrobius A, Mösting A, Nicollet A, Proclus und Sharp A als ein System von neun Fundamentalpunkten auf der Mondoberfläche; Friedrich Hayn (1863-1928) verwendete nur fünf, Egede A, Kepler A, Messier A, Mösting A und Tycho. Einige dieser Referenzpunkte wurden von dem Wiener Astronomen Guntram Schrutka-Rechtenstamm neu vermessen, und zwar 1956 und 1958.

Anhand der so erhaltenen Punkte erster Ordnung konnten Franz (1901), visuell nicht weniger als 1446, Saunder (1905, 1911) photographisch 2885 Punkte zweiter Ordnung einmessen. Arthur (1961) verwendete die Messungen von Saunder, um mittels graphischer Interpolation das Koordinatennetz für den Orthographic Atlas of the Moon zu ermitteln.

Literatur:

Z.Kopal, R.W.Carder, Mapping of the Moon. D.Reidel Publishing Comp., Dordrecht, Holland 1974.

K.Graff, Formeln und Hilfstafeln zur Reduktion von Mondbeobachtungen und Mondphotographien für selenographische Zwecke. Berlin 1901, Veröff.Kgl.Astr.Rechen-Institut Berlin Nr.14.

Explanatory Supplement to the Astronomical Ephemeris, HMSO, London 1961.

Astronomisches Jahrbuch der UdSSR für 1981, Leningrad.

H.Mucke, Himmelskalender 1981. Astronomisches Büro, Wien.

Michael Pietschnig
Pannaschgasse 7/5
A-1050 Wien

Referat: Die Lichtgrenze auf dem Mond

1) Allgemeines

Die auffälligste Erscheinung des Mondes sind seine Lichtgestalten, die Phasen; darunter versteht man die Tatsache, daß die Mondscheibe in wechselndem Ausmaß von der Sonne erleuchtet erscheint und diese Phasen sind von der Stellung der beiden Himmelskörper zueinander abhängig.

Die Trennlinie zwischen beleuchtetem und unbeleuchtetem Teil der Mondscheibe nennt man Terminator. Für eine gezielte Mondbeobachtung ist es unentbehrlich, die Lage des Terminators für jeden beliebigen Zeitpunkt berechnen zu können; Jahrbücher, die solche Daten enthalten, stehen nicht immer zur Verfügung.

Der Terminator (Morgenhälfte ebenso wie Abendhälfte) läuft in einem synodischen Monat (29,5 Tage) einmal um die Mondkugel, er durchwandert in diesem Zeitraum einen Winkel von 360° , das bedeutet eine tägliche Verschiebung um $12,19^\circ$.

Die selenographischen Koordinaten (siehe diesbezügl. Referat) sind:

l = selenographische Länge

positiv i.d.Hälfte mit M.Crisium (westwärts am Himmel)
von 0° bis $+90^\circ$ (und weiter bis $+180^\circ$)

negativ i.d.Hälfte mit Grimaldi (ostwärts am Himmel)
von 0° bis -90° (und weiter bis -180°)

oder : entgegen dem Uhrzeigersinn von $0^\circ - 360^\circ$

b = selenographische Breite

positiv i.d.Hälfte mit Mare Serenitatis

negativ i.d.Hälfte mit Mare Nubium

l_\odot, b_\odot = selenographische Länge und Breite der Sonne, das sind die selenographischen Koordinaten jenes Punktes der Mondoberfläche, in welchem die Sonne im Zenit steht.

Zur Festlegung des Terminators bezieht man sich aber nicht auf die selenographische Länge der Sonne, sondern besser auf den Komplementwinkel, der die Bezeichnung Colongitude führt.

c = Colongitude der Sonne; $c = 90^\circ - l_\odot$ bzw. $c = 450^\circ - l_\odot$

Die Colongitude beträgt etwa 270° bei Neumond

0° im ersten Viertel

90° bei Vollmond

180° im letzten Viertel

Fortsetzung Referat: Die Lichtgrenze auf dem Mond

2) Terminator-Tabellen (J.Meeus, f.d.Jahre 1600-2400, Weltzeit)

Berechnung des Terminators für 1981 04 09 20 h MEZ (19 h UT)

| Termin | Tabelle | Col ^o | M ^o | |
|-----------------|---------|--------------------------|----------------|--|
| 1900 | Tab.I | 254.64 | 0.0 | |
| 31 | Tab.II | 303.31 | 1.0 | |
| Apr | Tab.III | 17.17 | 84.7 | |
| 09 | Tab.IV | 109.72 | 8.9 | Aus den Tafeln erhält man zunächst die Colongitude. |
| 19 | Tab.V | 9.65 | 0.8 | |
| | | <u>694.49</u> | <u>95.4</u> | Morgenterminator l = l _{T(M)} |
| | | 334.49 | | Abendterminator l = l _{T(A)} |
| M (95.4) | Tab.VI | - 1.9 | | |
| Colongitude c = | | <u>332.6^o</u> | | |

Zur Auffindung des Terminators gelten die Regeln:

$$l_{T(M)} = \text{selenographische Länge des Morgen-terminators (Sonnenaufgang am Mond)} = 360^{\circ} - c = (+27,4^{\circ})$$

$$l_{T(A)} = \text{selenographische Länge des Abend-terminators (Sonnenuntergang am Mond)} = 180^{\circ} - c = (-152,6^{\circ})$$

Berechnung des Termins Sonnenaufgang an einem bestimmten Punkt der Mondoberfläche, z.B. für Copernicus (l = -20^o) im April 1981.

Wenn : $l_T = 360^{\circ} - c$; dann auch : $c = 360^{\circ} - l_T$

Zu suchen ist jener Zeitpunkt des Monats April 1981, in dem die Colongitude den Wert $c = 360^{\circ} - (-20^{\circ}) = 380^{\circ}$ erreicht.

Für 1981 April erhalten wir die Tafelwerte:

254,64 + 303,31 + 17,17 = 575,12 = 215,12 ; die Differenz gegenüber den gesuchten 380^o beträgt 164,88^o; der letzterem Wert nächstgelegene Montagstag ist nach Tafel IV der 13. (April) mit dem Tafelwert.. 158,48^o

zu diesem ist die Korrektur Tafel VI anzubringen, die für M 98,5^o (= 1,0 + 84,7 + 12,8) beträgt - 1,9^o

c = für 1981 04 13 0 h UT 156,6^o
bis zum Differenzwert c von 164,9^o

erfordert das noch einen Terminatorschub um 8,3^o

dafür folgt aus Tafel V der Stundenwert von rd. 16,5^h

Sonnenaufgang Copernicus: 1981 04 13 16h30 UT = 17h30 MEZ

Analog läßt sich der Termin Sonnenuntergang aus: $c = 180^{\circ} - l$, bzw. der Termin Mittag aus: $c = 90^{\circ} - l$ berechnen.

Die Tabellenergebnisse sind für den Mondäquator auf 0,3^o genau; die selenographische Breite der Sonne kann vernachlässigt werden; die Tafel VI ist in den Seminarpapieren auf 0,1^o gerundet; eine zweite Korrekturtafel mit Korrekturwerten von maximal 0,15^o wurde hier weggelassen; die Exzentrizität der Erdbahn wird gegenüber 1900 unverändert vorausgesetzt; alles berechnet für das mittlere Mondscheibenzentrum (Libration L = B = Null).

3) Terminator-Formeln

Eine sehr viel bessere Genauigkeit liefert die Rechnung, die durch den Einsatz von Taschenrechnern heute wesentlich erleichtert wird.

Die Größen ΔT , L_{\odot} , L, M, e ergeben sich aus Polynomen der Form:

$$c_0 + c_1 \cdot T + c_2 \cdot T^2 + c_3 \cdot T^3$$

Es bedeuten: \odot ekliptikale Länge der wahren Sonne; L Länge der mittleren Sonne; L_{\odot} (oder L') Länge des mittleren Mondes; C Mittel-punktsgleichung der Sonne (= mittlere minus wahre Anomalie); M Mittlere Anomalie der Sonne (geozentrischer Winkelabstand zwischen Perigäum und mittlerer Sonne); c Colongitude; e numer. Exzentrizität; T Zeit in julianischen Jahrhunderten seit 1900 01 00, 12 h ET; ΔT Unterschied zwischen der gleichförmigen Ephemeridenzeit ET und der ungleichförmigen Weltzeit UT.

$$T = \frac{JD - 2\,415\,020}{36\,525} ; \quad \Delta T = ET - UT; \quad \text{bzw. } ET = UT + \Delta T$$

| | c_0 | c_1 | c_2 | c_3 |
|-------------|----------------------|---------------|---------------|--------------|
| ΔT | 0,000 3 ^d | 0,000 84 | 0,000 346 7 | |
| L_{\odot} | 270,43 ^o | 481 267,883 1 | -0,001 133 | 0,000 001 9 |
| L | 279,70 ^o | 36 000,768 9 | 0,000 303 | |
| M | 358,48 ^o | 35 999,049 8 | -0,000 150 | -0,000 003 3 |
| e | 0,016 75 | -0,000 0418 | -0,000 000 13 | |

$$C = 114,59 \cdot e \cdot \sin M + 71,62 \cdot e^2 \cdot \sin 2M + e^3 (62,07 \cdot \sin 3M - 14,32 \cdot \sin M)$$

Es gilt die Beziehung :

$$l_{\odot} = \odot - L' + 180^{\circ} + 0,147 \cdot \sin(\odot - L')$$

und wegen $\odot = L + C$ und $c = 90^{\circ} - l_{\odot}$ durch Umformung :

$$c = L' - L - 90^{\circ} - C + 0,147 \cdot \cos(L' - L - 90^{\circ} - C)$$

oder wenn: $(L' - L - 90^{\circ} - C) = a$; dann: $c = a + 0,147 \cdot \cos a$

Der Ausdruck $(L' - L - 90^{\circ})$ ist in den Tafeln I bis V enthalten, der Wert $(-C)$ als Korrektur in Tafel VI; mit dem letzten Term $0,147 \cdot \cos a$ wird der Elongation des Mondes, von der Sonne aus gesehen, (also Winkel: Erde - Sonne - Mond) Rechnung getragen. Aus der Formel ist zu entnehmen, daß die (scheinbare) Wanderung der Lichtgrenze nur von der - fast vollkommen gleichmäßigen - Rotation der Mondkugel abhängig ist und nicht durch die unterschiedliche Geschwindigkeit des Mondes auf seiner elliptischen Bahn beeinflußt wird; die selenographische Länge der Sonne, bzw. die Colongitude ist also auch ganz unabhängig von der Libration.

4) Terminator-Karten

Die beigegebenen Terminator-Karten ermöglichen eine unmittelbare Umsetzung der Rechenergebnisse in den Anblick des Mondes.- Für den Morgenterminator gelten die Karten 1 bis 7, für den Abendterminator die Karten 8 bis 14.

Die Kartendarstellung zeigt den Terminator für den vollen 10° -Wert und überlappt noch 10° in Richtung des dunklen Mondteiles.

Die Darstellung der Mondoberfläche entstammt der Übersichtskarte des Taschenatlas von A. Rühl : Mond - Mars - Venus; dort werden 8 Breitenzonen des Mondes in 76 Unterabschnitten abgebildet; in Verbindung mit diesem Kartenwerk werden unsere Terminator-Karten (welche die gleiche Feldnummerierung tragen) mit Vorteil auch bei der Beobachtung mit optischen Instrumenten eingesetzt werden können; der Terminatorverlauf kann an Hand der Rühl-Sektionskarten zusammengestellt werden.

5) Terminator-Formationen

Eine Auflistung der Mondlandschaften am und beim berechneten Terminator erfolgt in tabellarischer Übersicht; diese Zusammenstellung entspricht der Phasenfolge der Terminator-Karten von selenographisch West nach selenographisch Ost in Abständen von jeweils 10° .

Die selenographischen Breiten sind den Formationsbenennungen in arabischen Zahlen beigegefügt, da aus Platz- und Übersichtsgründen die Einordnung in Breite nur schematisch erfolgt.

Registriert sind neben Krater auch Rillen, Furchen, Täler, Kaps und Berge bzw. Gebirge (Ri = Rimae; Ru = Rupes; V = Vallis; Ma = Mare; Pr = Promontorium; M = Mons bzw. Montes); bei ausgedehnten Regionen bezieht sich die Lageangabe auf das Zentrum.

6) Positionswinkel des hellen Randes

Es bedeutet:

χ = Positionswinkel des hellen Randes, d.h. jenes Punktes, der genau zwischen den beiden Hörnerspitzen am Mondrand liegt. Zählung von N über O - S - W;

α, δ = Rektaszension, Deklination (Mond)

α_0, δ_0 = Rektaszension, Deklination (Sonne)

Es gilt:

$$\tan \chi = \frac{\cos \delta_0 \sin (\alpha_0 - \alpha)}{\cos \delta \sin \delta_0 - \sin \delta \cos \delta_0 \cos (\alpha_0 - \alpha)}$$

Literatur:

- J. Meeus : Terminortabellen voor Maanwaarnemingen.
Zeitschrift: Hemel en Dampkring, Vol.61 (1963), Nr.12.
- H. Mucke : Astronomische Phänomenologie mit dem Taschenrechner.
Zeitschrift: Die Sterne - Jg.1981; Barth, Leipzig (im Druck).
- A. Rükl : Taschenatlas Mond - Mars - Venus; Antia, Prag 1977.

Wolfgang Valentin
Argentinierstraße 35
1040 Wien

TAFEL III. MONAT

| Monat | Col ^o | M ^o | Monat | Col ^o | M ^o | Monat | Col ^o | M ^o | Monat | Col ^o | M ^o |
|---------|------------------|----------------|-------|------------------|----------------|-------|------------------|----------------|-------|------------------|----------------|
| Jan. | 0.00 | 356.0 | Mär. | 359.25 | 54.2 | Jun. | 40.80 | 144.8 | Okt. | 88.07 | 265.1 |
| Jan(S). | 347.81 | 355.0 | Apr. | 17.17 | 84.7 | Jul. | 46.53 | 174.4 | Nov. | 105.99 | 295.6 |
| Feb. | 17.91 | 26.6 | Mai | 22.89 | 114.3 | Aug. | 64.44 | 204.9 | Dez. | 111.71 | 325.2 |
| Feb(S). | 5.72 | 25.6 | | | | Sep. | 82.35 | 235.5 | | | |

Die mit (S) gekennzeichneten Monatswerte gelten für Schaltjahre; alle Jahre, deren Jahreszahl durch 4 ohne Rest teilbar, sind Schaltjahre, ausgenommen die Jahre 1700, 1800, 1900, 2100, 2200 und 2300.

TAFEL IV. TAG

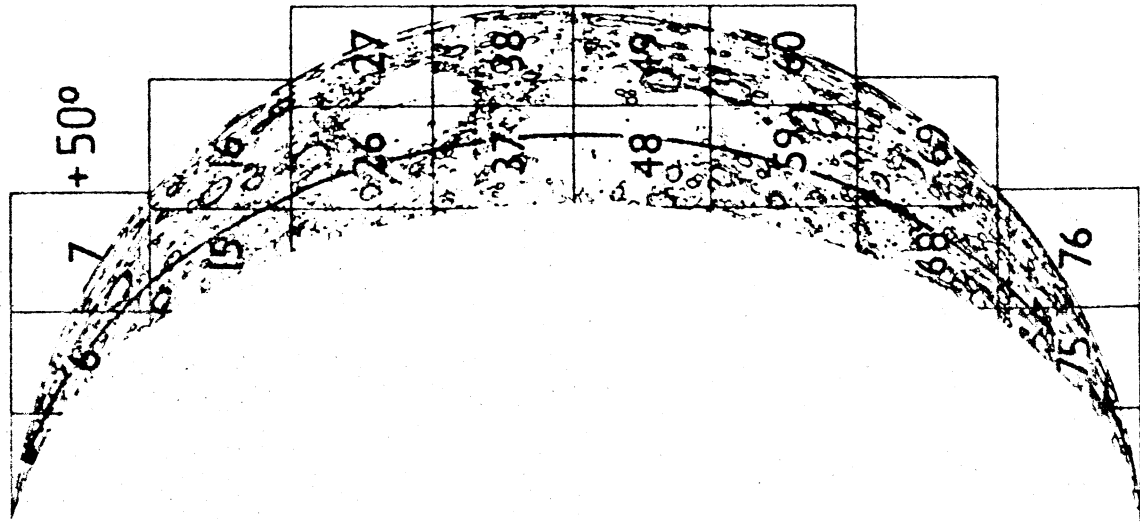
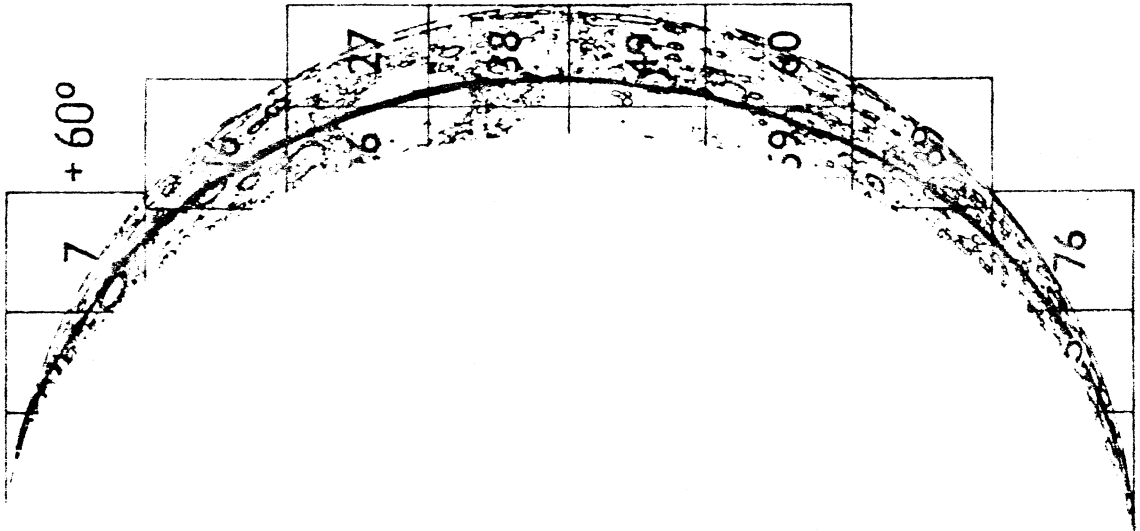
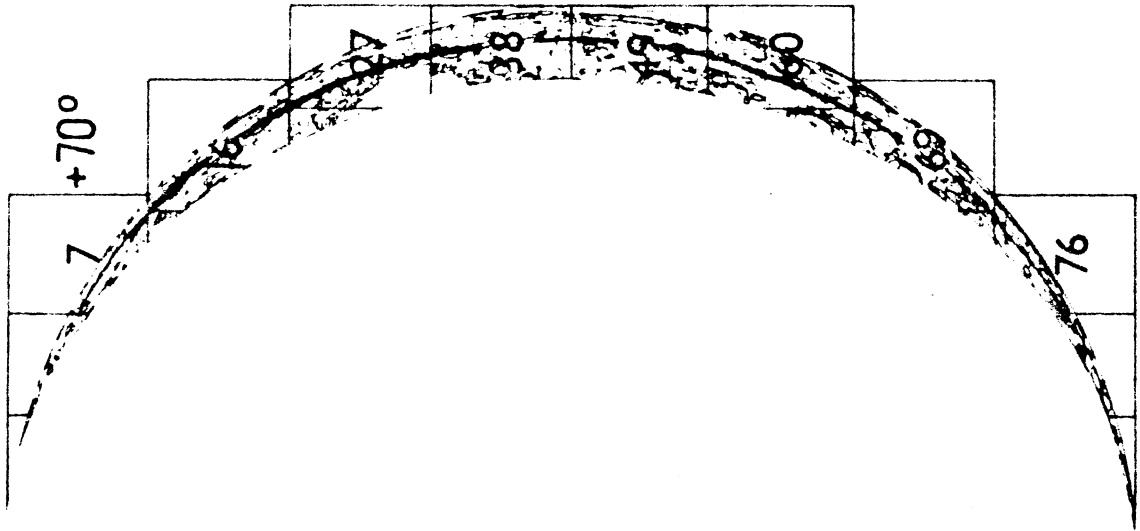
| Tag | Col ^o | M ^o | Tag | Col ^o | M ^o | Tag | Col ^o | M ^o | Tag | Col ^o | M ^o |
|-----|------------------|----------------|-----|------------------|----------------|-----|------------------|----------------|-----|------------------|----------------|
| 1 | 12.19 | 1.0 | 9 | 109.72 | 8.9 | 17 | 207.24 | 16.8 | 25 | 305.77 | 24.6 |
| 2 | 24.38 | 2.0 | 10 | 121.91 | 9.9 | 18 | 219.43 | 17.7 | 26 | 316.96 | 25.6 |
| 3 | 36.57 | 3.0 | 11 | 134.10 | 10.8 | 19 | 231.62 | 18.7 | 27 | 329.15 | 26.6 |
| 4 | 48.76 | 3.9 | 12 | 146.29 | 11.8 | 20 | 243.81 | 19.7 | 28 | 341.34 | 27.6 |
| 5 | 60.95 | 4.9 | 13 | 158.48 | 12.8 | 21 | 256.01 | 20.7 | 29 | 353.53 | 28.6 |
| 6 | 73.14 | 5.9 | 14 | 170.67 | 13.8 | 22 | 268.20 | 21.7 | 30 | 5.72 | 29.6 |
| 7 | 85.34 | 6.9 | 15 | 182.86 | 14.8 | 23 | 280.39 | 22.7 | 31 | 17.91 | 30.6 |
| 8 | 97.53 | 7.9 | 16 | 195.05 | 15.8 | 24 | 292.58 | 23.7 | | | |

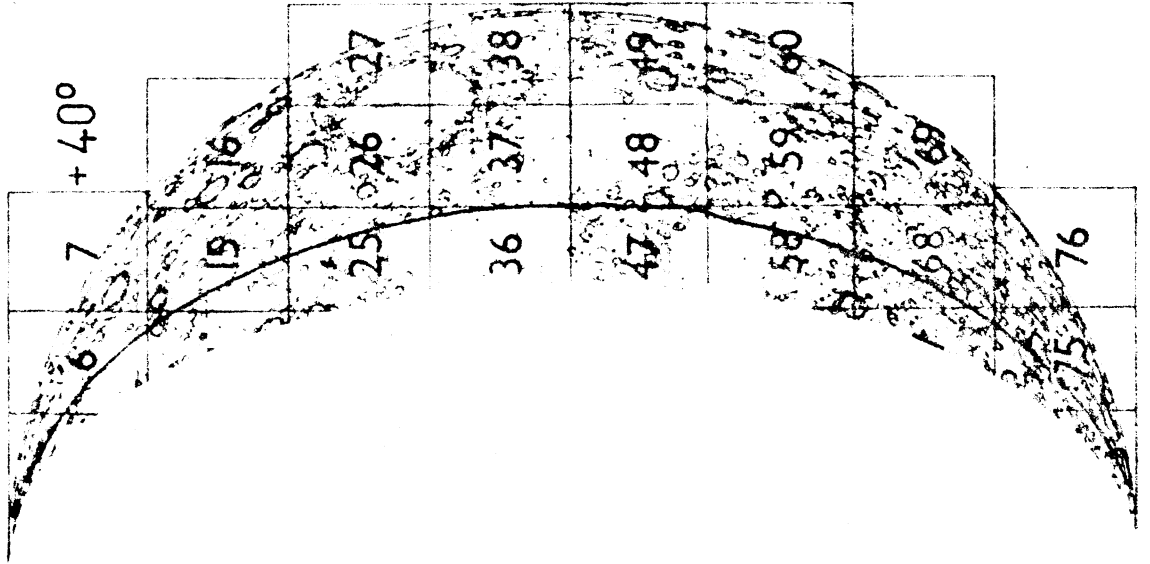
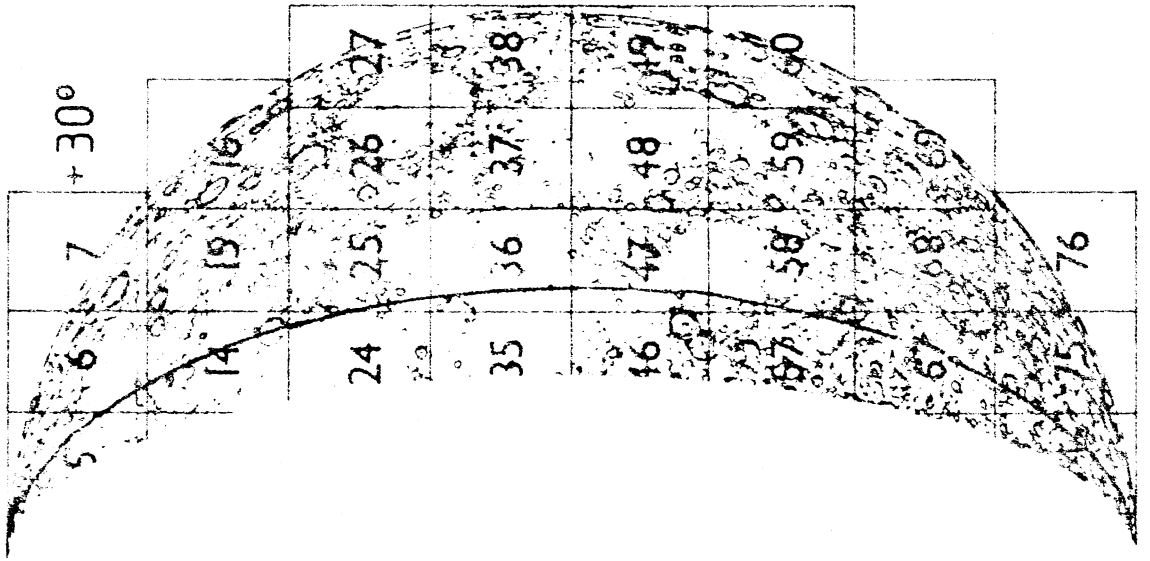
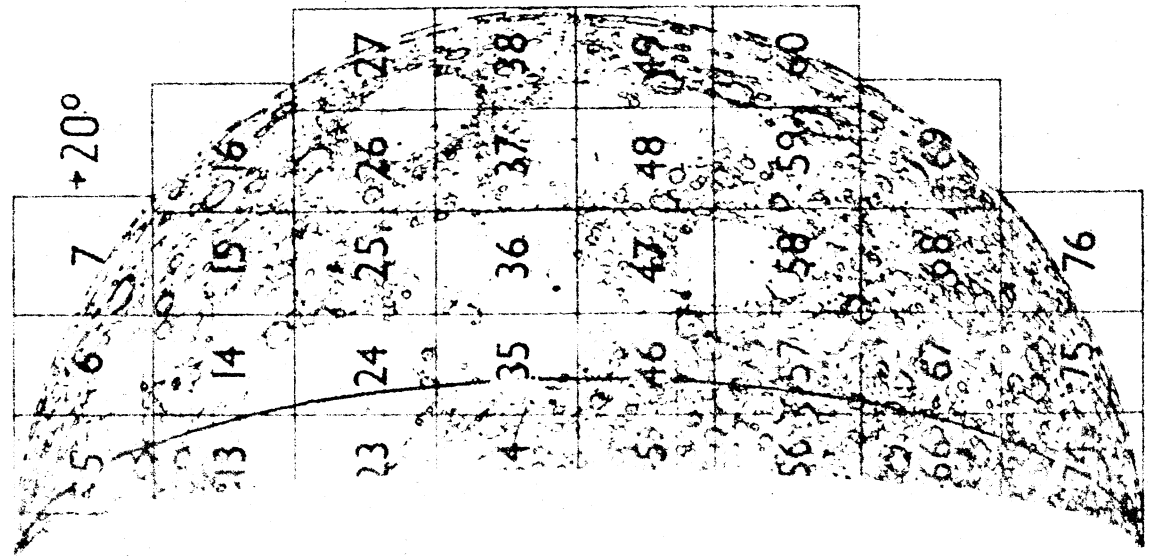
TAFEL V. STUNDE

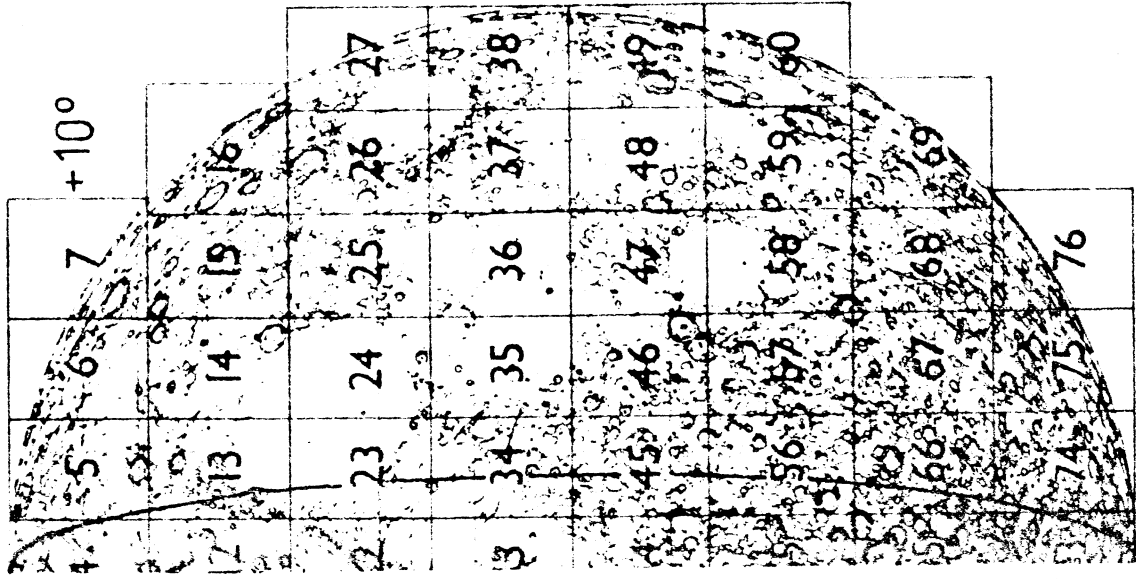
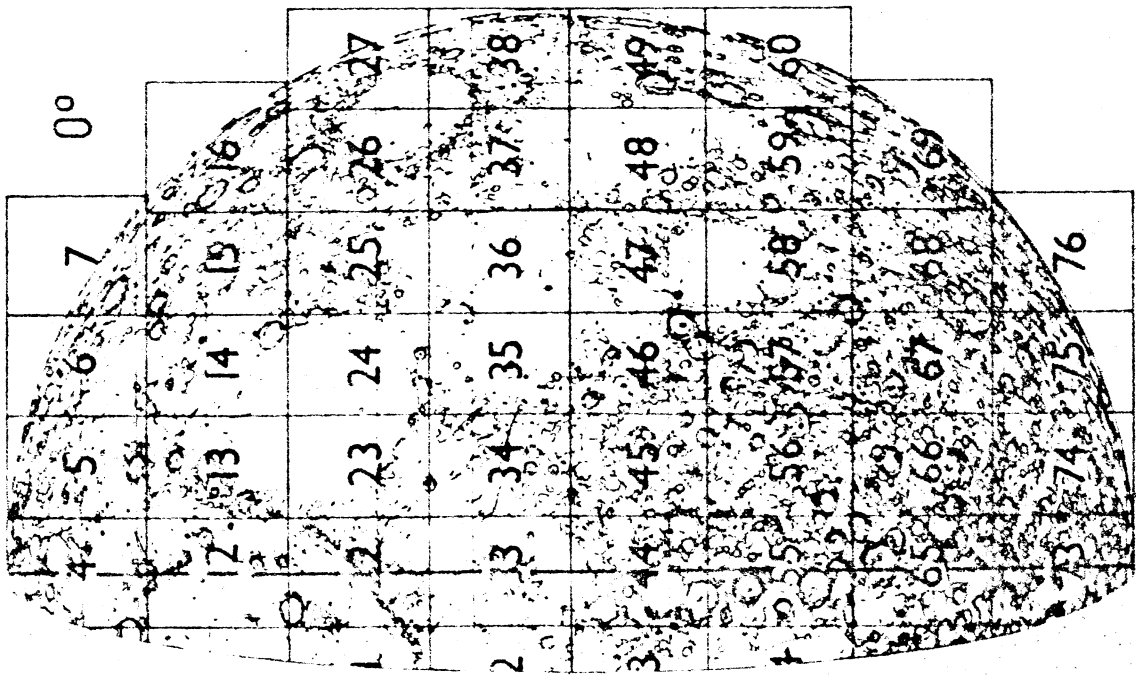
| h | Col ^o | M ^o | h | Col ^o | M ^o | M ^o | Korrektur ^o | M ^o | M ^o | Korrektur ^o | M ^o |
|----|------------------|----------------|----|------------------|----------------|----------------|------------------------|----------------|----------------|------------------------|----------------|
| 1 | 0.51 | 0.0 | 13 | 6.60 | 0.5 | 0 | - 0.0 | 360 | 90 | - 1.9 + | 270 |
| 2 | 1.02 | 0.1 | 14 | 7.11 | 0.6 | 10 | - 0.4 + | 350 | 100 | - 1.9 + | 260 |
| 3 | 1.52 | 0.1 | 15 | 7.62 | 0.6 | 20 | - 0.7 + | 340 | 110 | - 1.8 + | 250 |
| 4 | 2.03 | 0.2 | 16 | 8.13 | 0.7 | 30 | - 1.0 + | 330 | 120 | - 1.6 + | 240 |
| 5 | 2.54 | 0.2 | 17 | 8.64 | 0.7 | 40 | - 1.3 + | 320 | 130 | - 1.5 + | 230 |
| 6 | 3.05 | 0.2 | 18 | 9.14 | 0.7 | 50 | - 1.5 + | 310 | 140 | - 1.2 + | 220 |
| 7 | 3.56 | 0.3 | 19 | 9.65 | 0.8 | 60 | - 1.7 + | 300 | 150 | - 1.0 + | 210 |
| 8 | 4.06 | 0.3 | 20 | 10.16 | 0.8 | 70 | - 1.8 + | 290 | 160 | - 0.6 + | 200 |
| 9 | 4.57 | 0.4 | 21 | 10.67 | 0.9 | 80 | - 1.9 + | 280 | 170 | - 0.3 + | 190 |
| 10 | 5.08 | 0.4 | 22 | 11.17 | 0.9 | 90 | - 1.9 + | 270 | 180 | - 0.0 + | 180 |
| 11 | 5.59 | 0.5 | 23 | 11.68 | 0.9 | | | | | | |
| 12 | 6.10 | 0.5 | 24 | 12.19 | 1.0 | | | | | | |

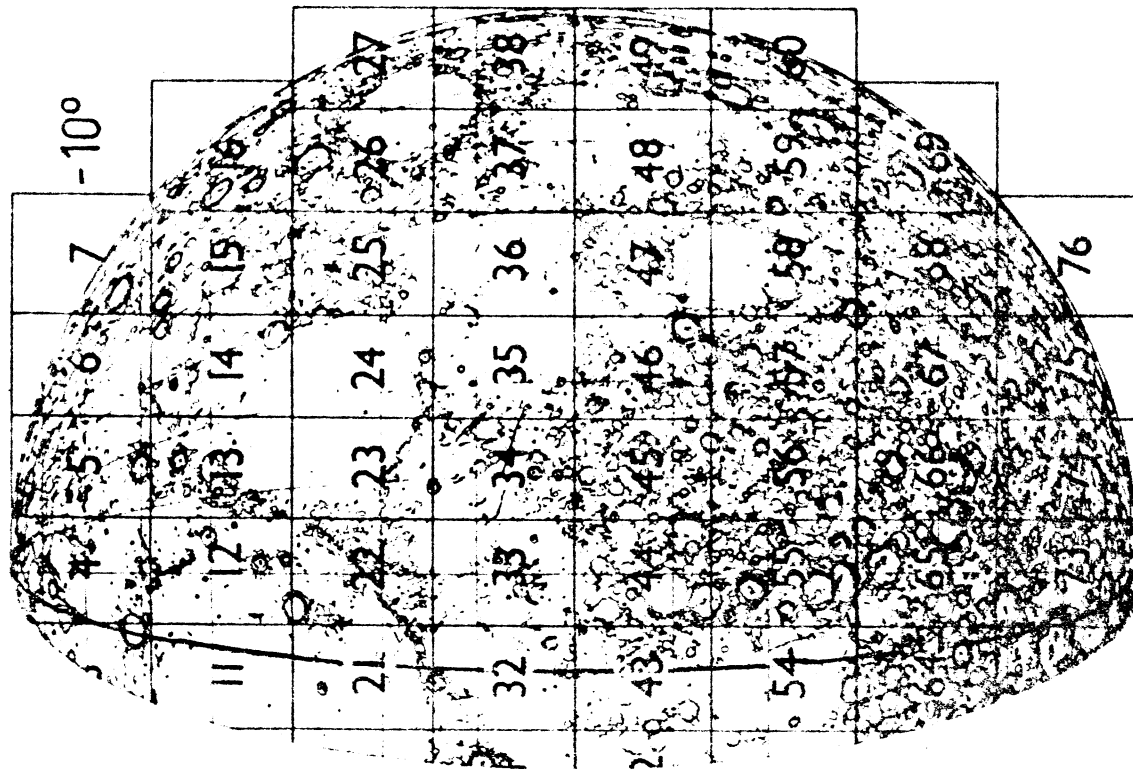
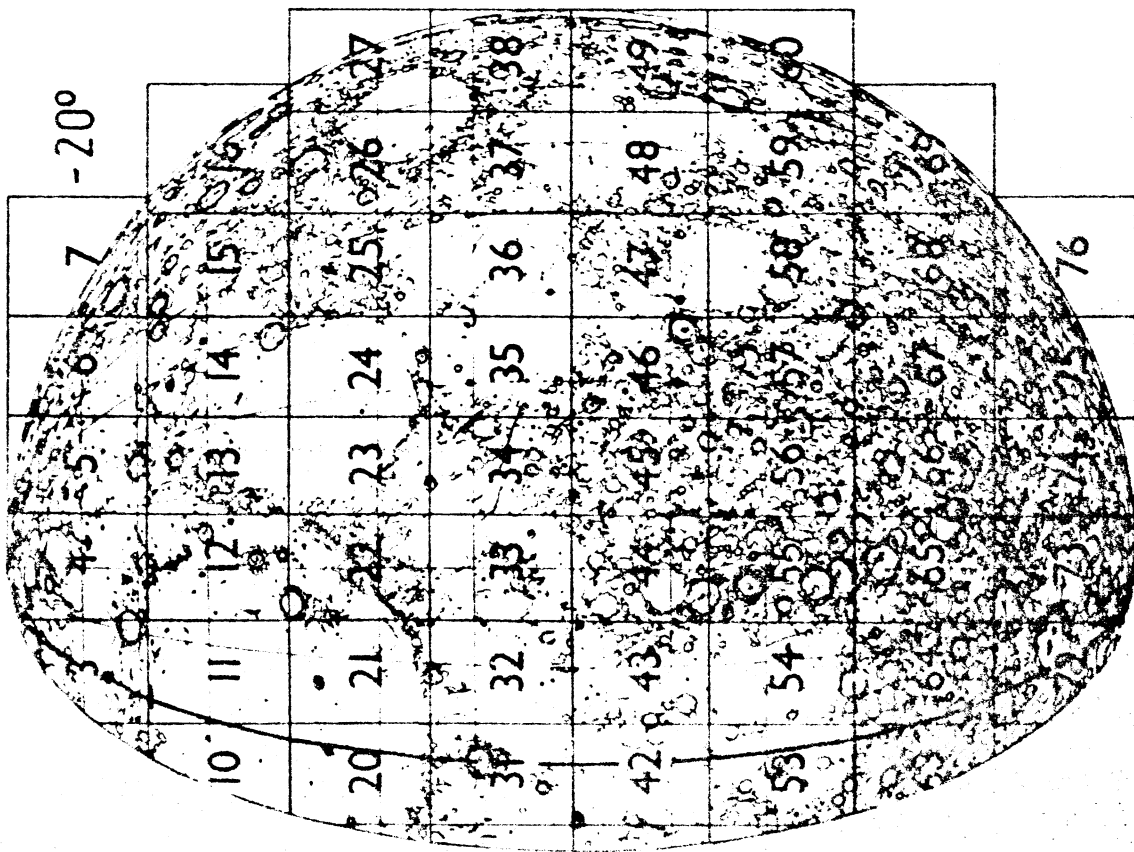
TAFEL VI. KORREKTUR

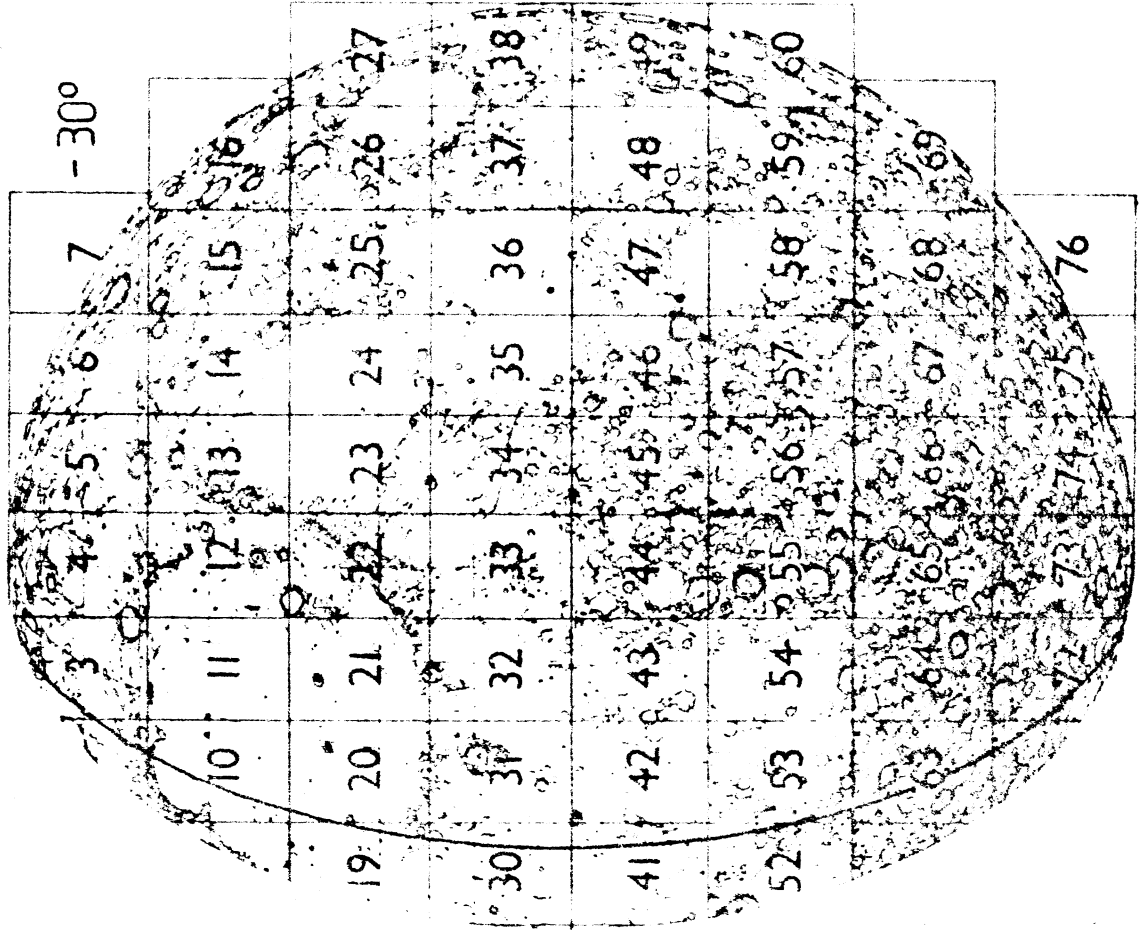
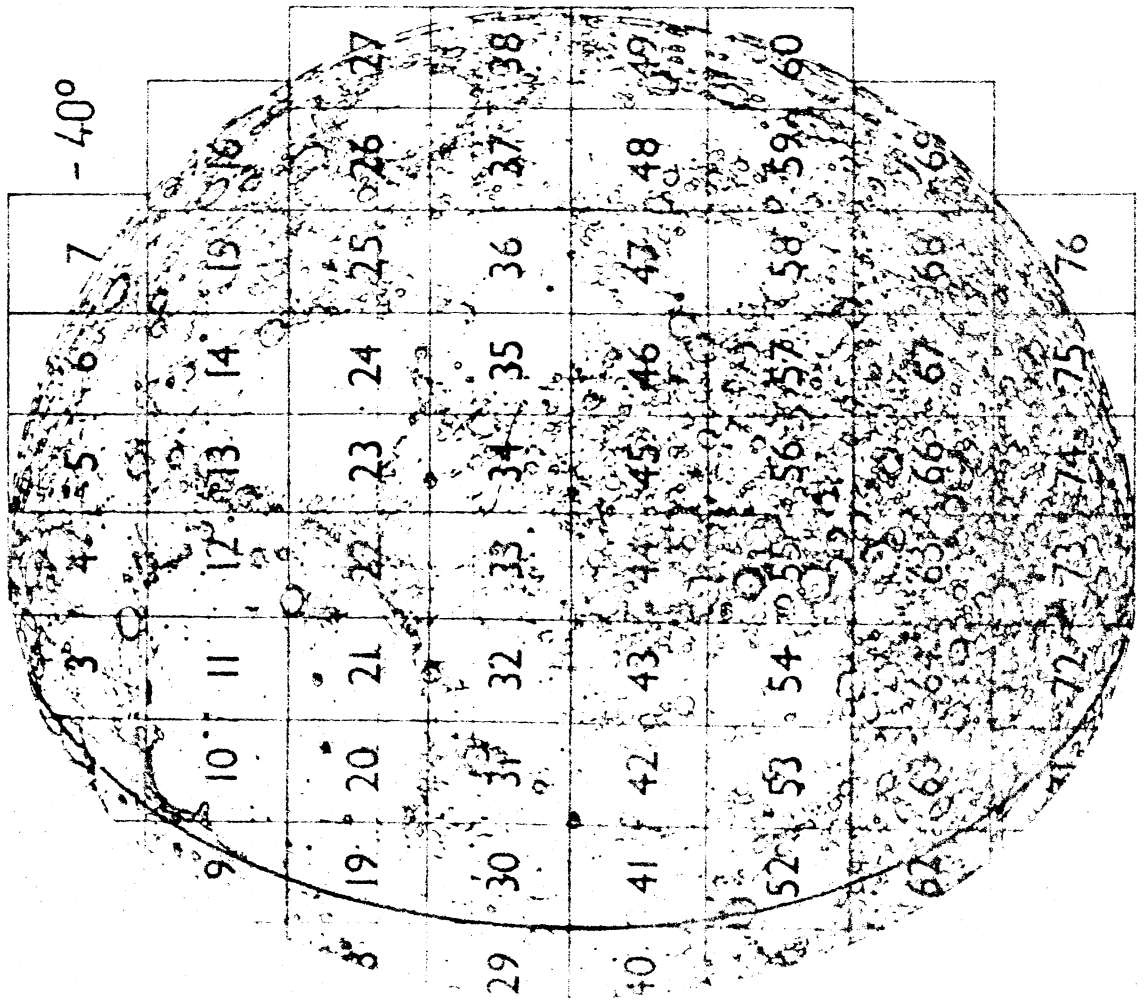
| M ^o | Korrektur ^o | M ^o | M ^o | Korrektur ^o | M ^o |
|----------------|------------------------|----------------|----------------|------------------------|----------------|
| 0 | - 0.0 | 360 | 90 | - 1.9 + | 270 |
| 10 | - 0.4 + | 350 | 100 | - 1.9 + | 260 |
| 20 | - 0.7 + | 340 | 110 | - 1.8 + | 250 |
| 30 | - 1.0 + | 330 | 120 | - 1.6 + | 240 |
| 40 | - 1.3 + | 320 | 130 | - 1.5 + | 230 |
| 50 | - 1.5 + | 310 | 140 | - 1.2 + | 220 |
| 60 | - 1.7 + | 300 | 150 | - 1.0 + | 210 |
| 70 | - 1.8 + | 290 | 160 | - 0.6 + | 200 |
| 80 | - 1.9 + | 280 | 170 | - 0.3 + | 190 |
| 90 | - 1.9 + | 270 | 180 | - 0.0 + | 180 |

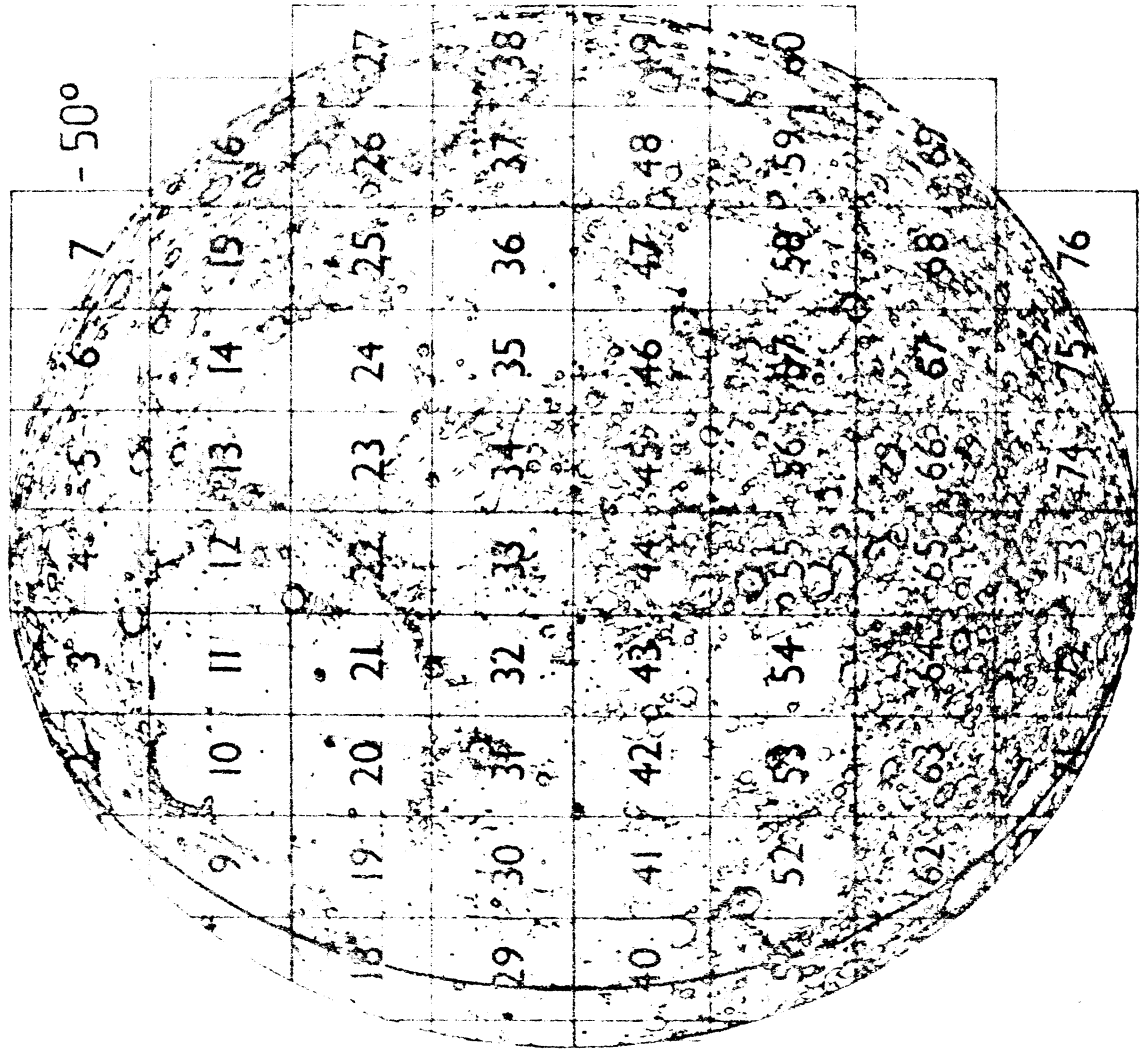
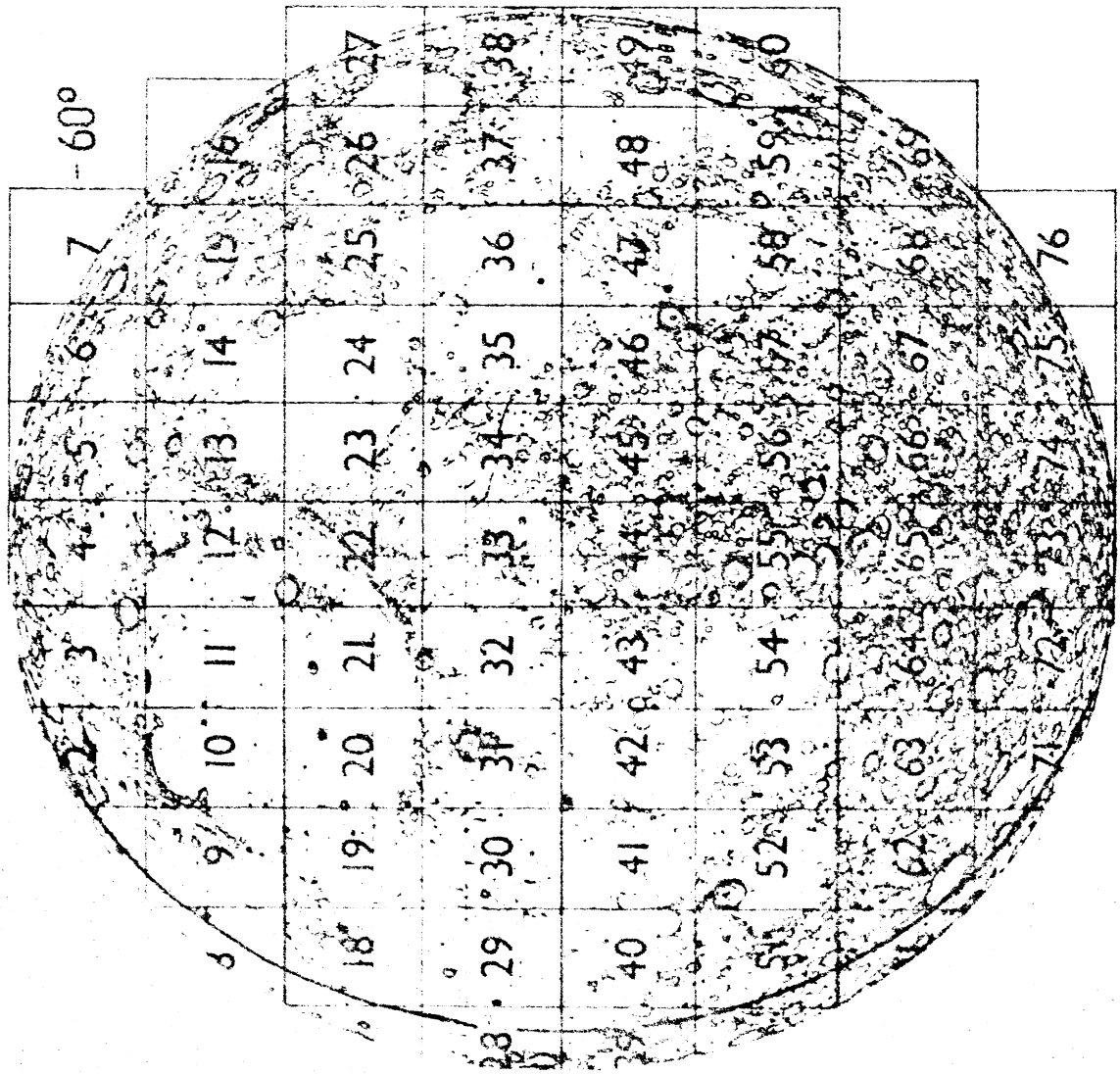


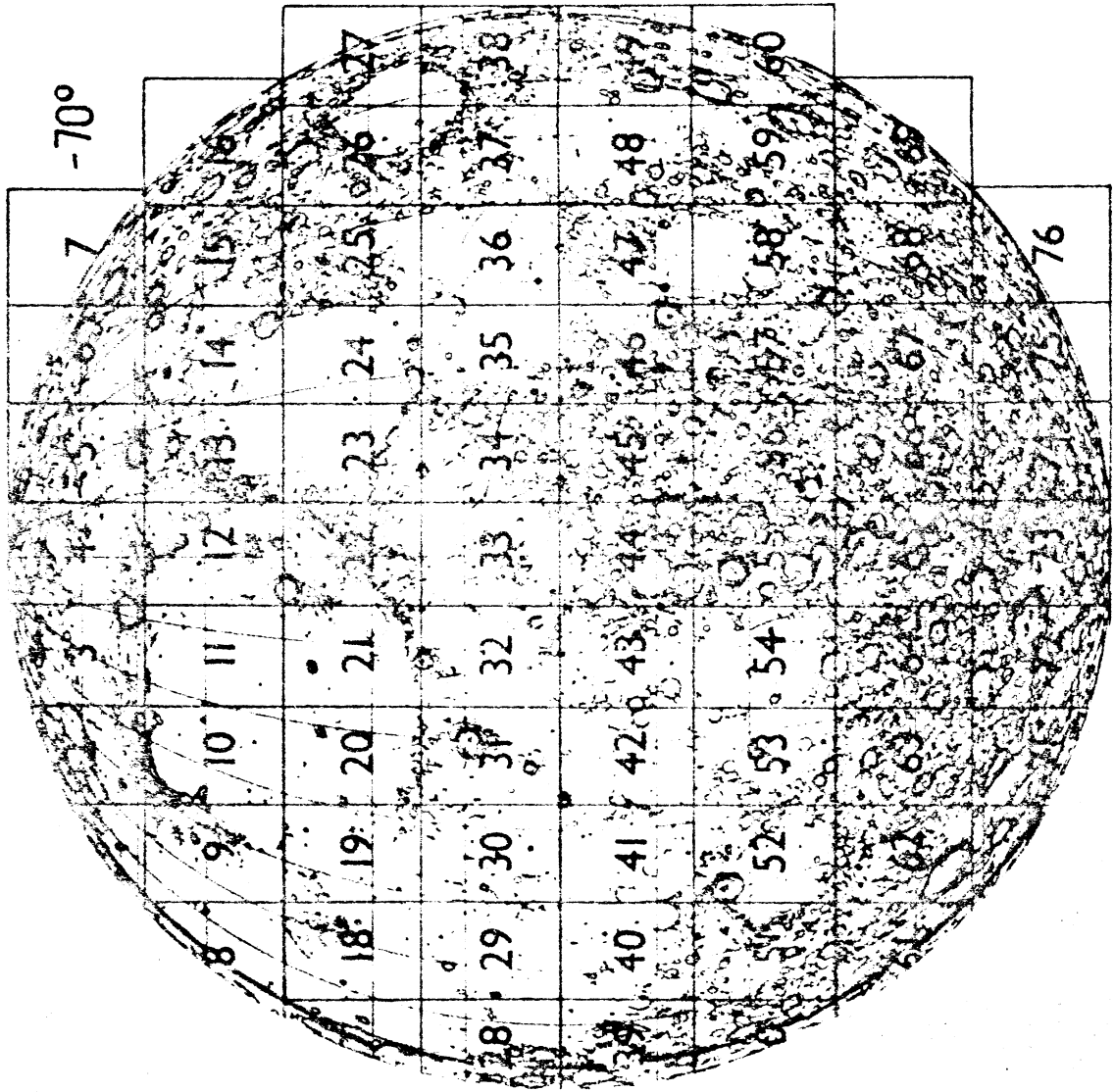


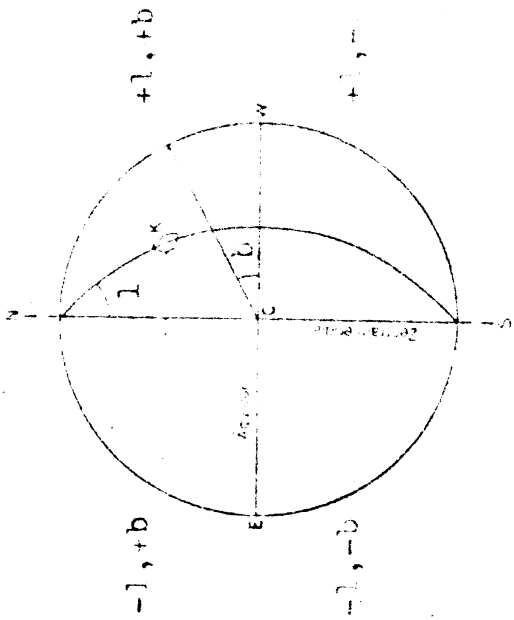
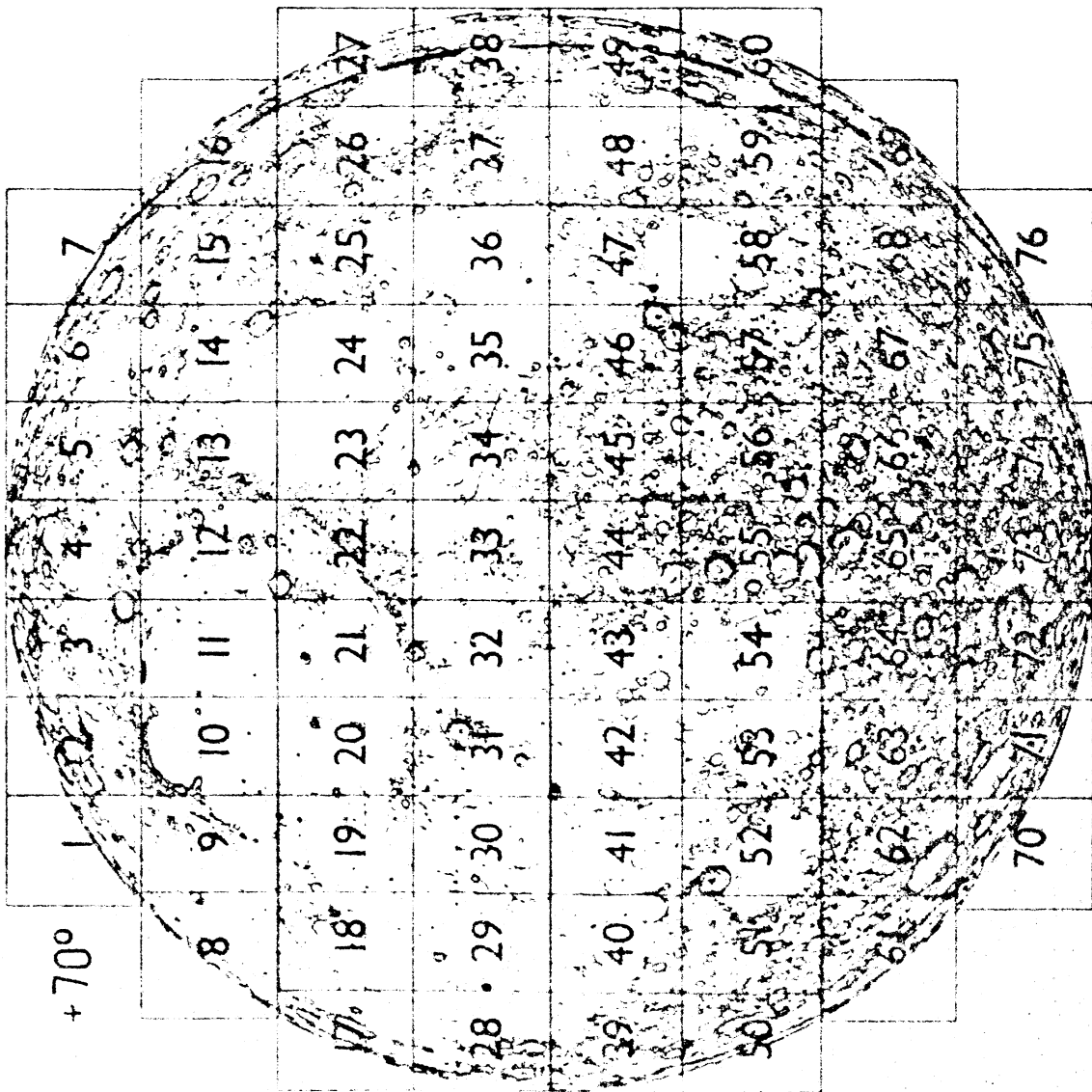






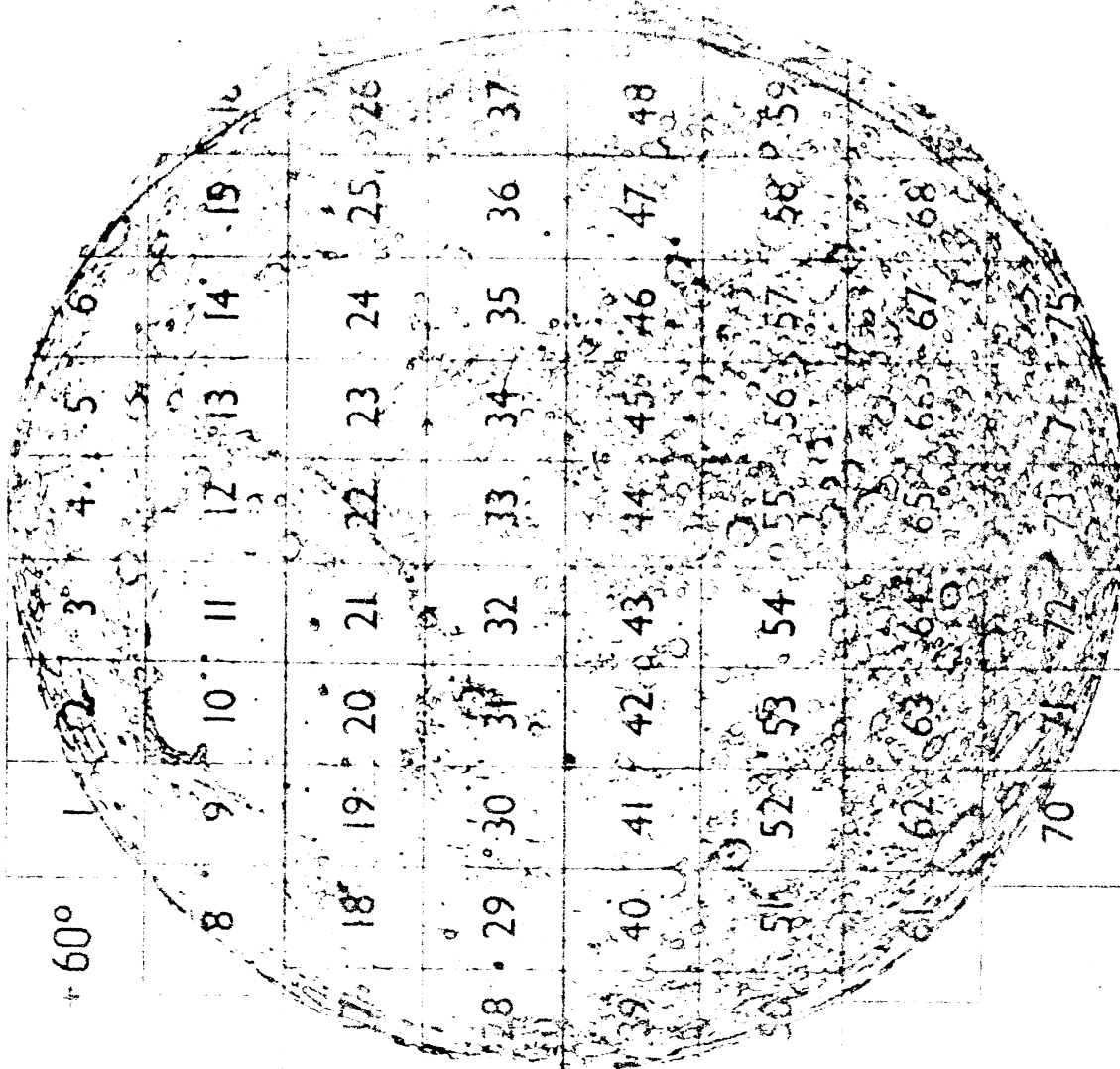
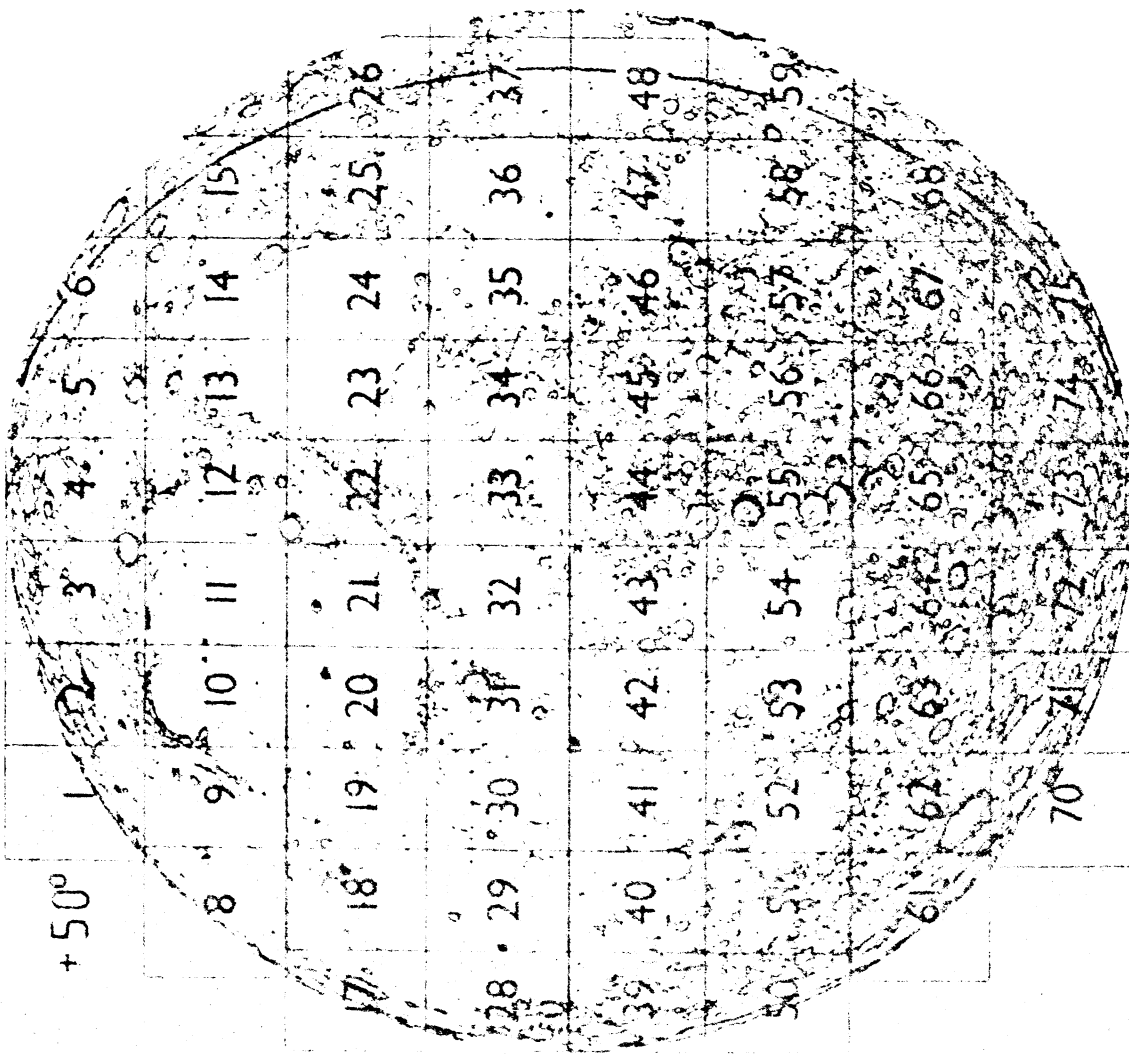


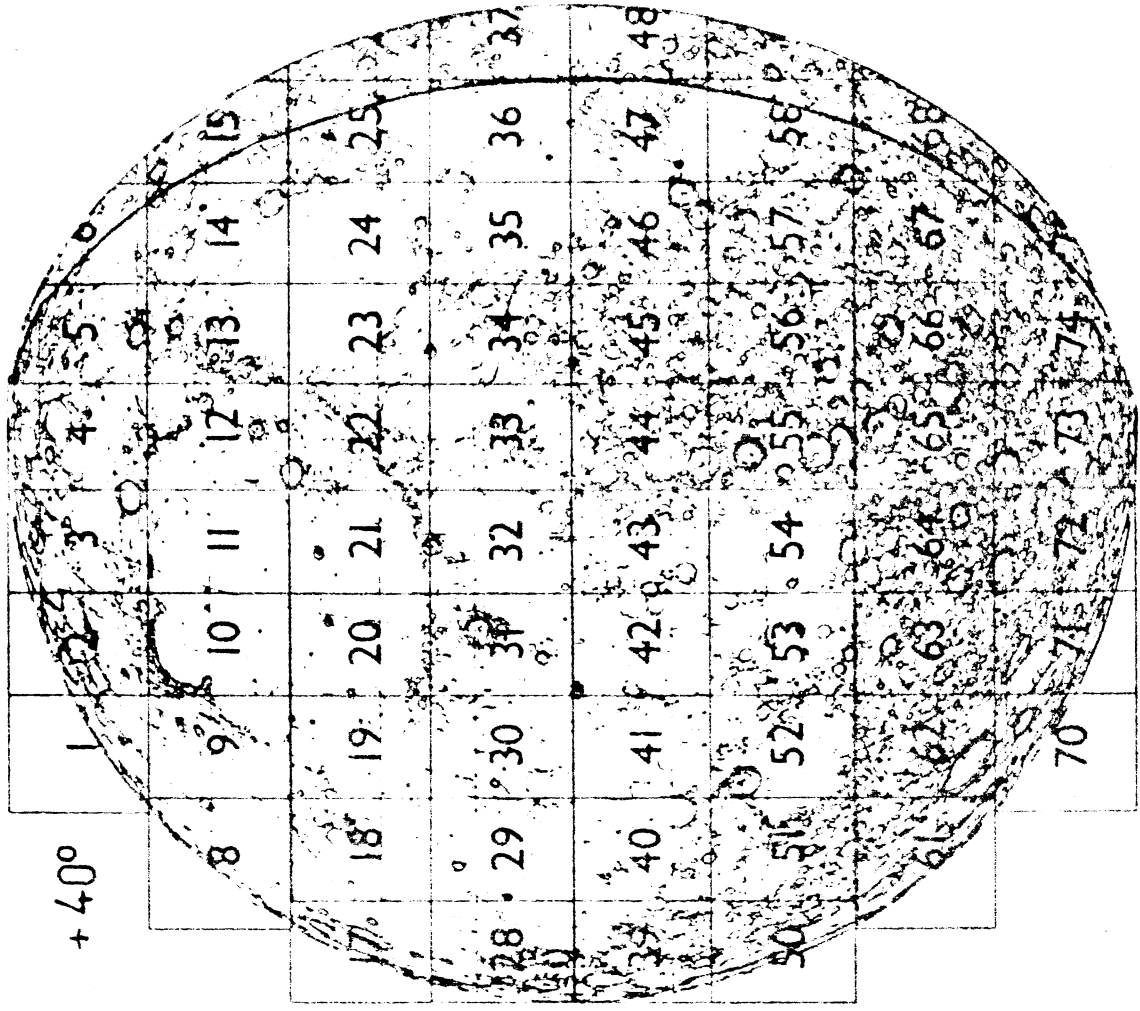
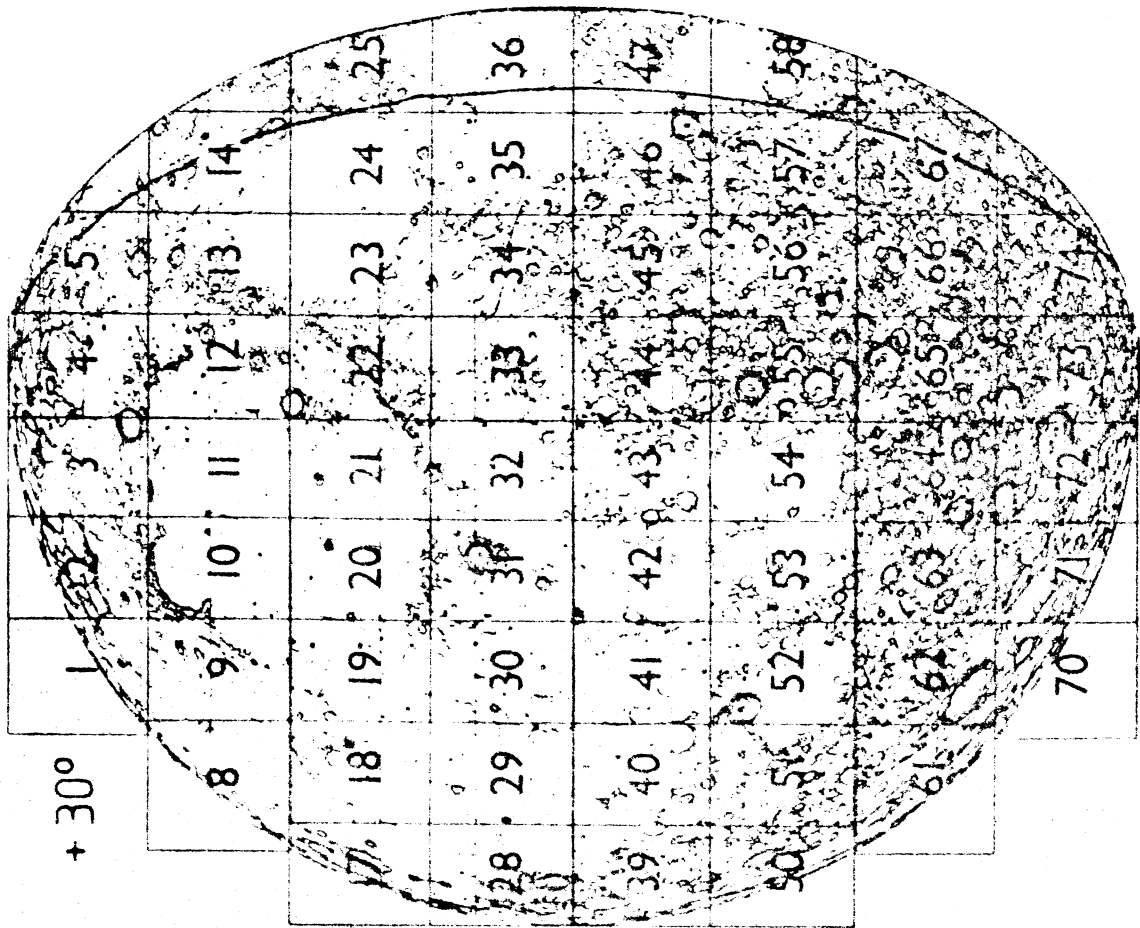


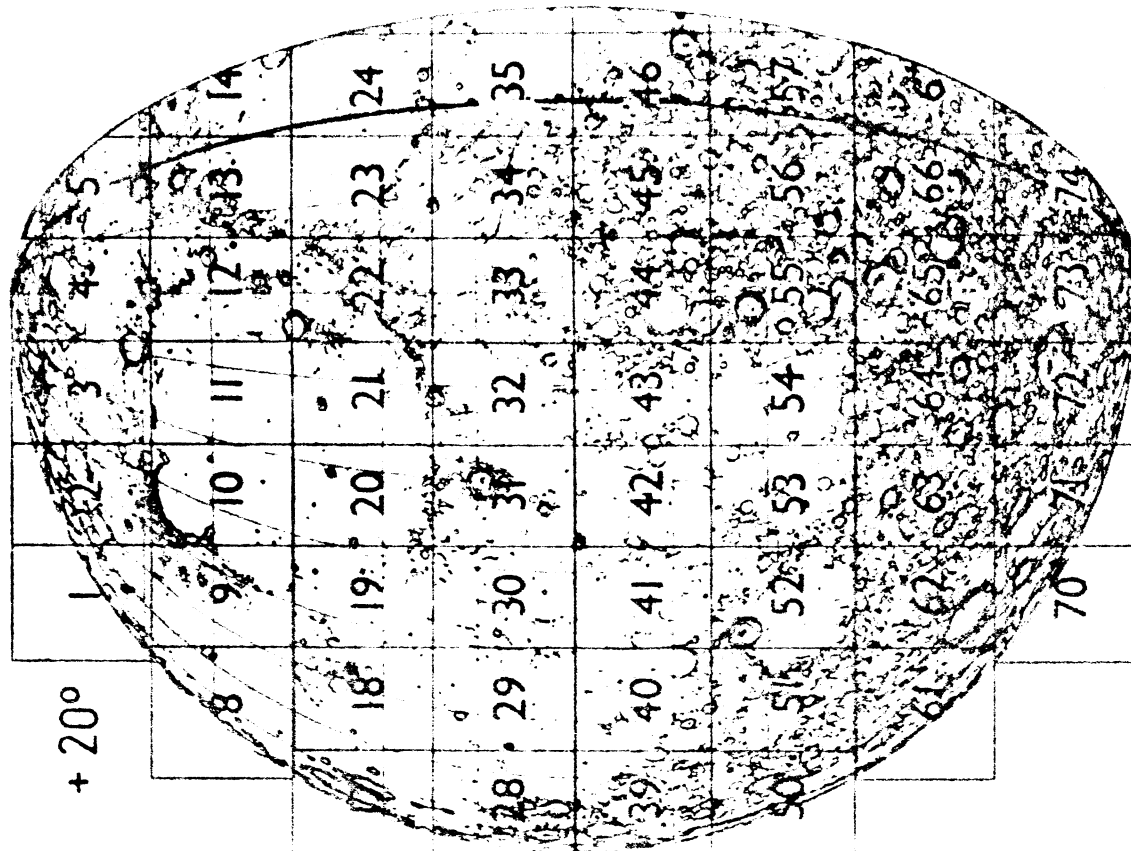
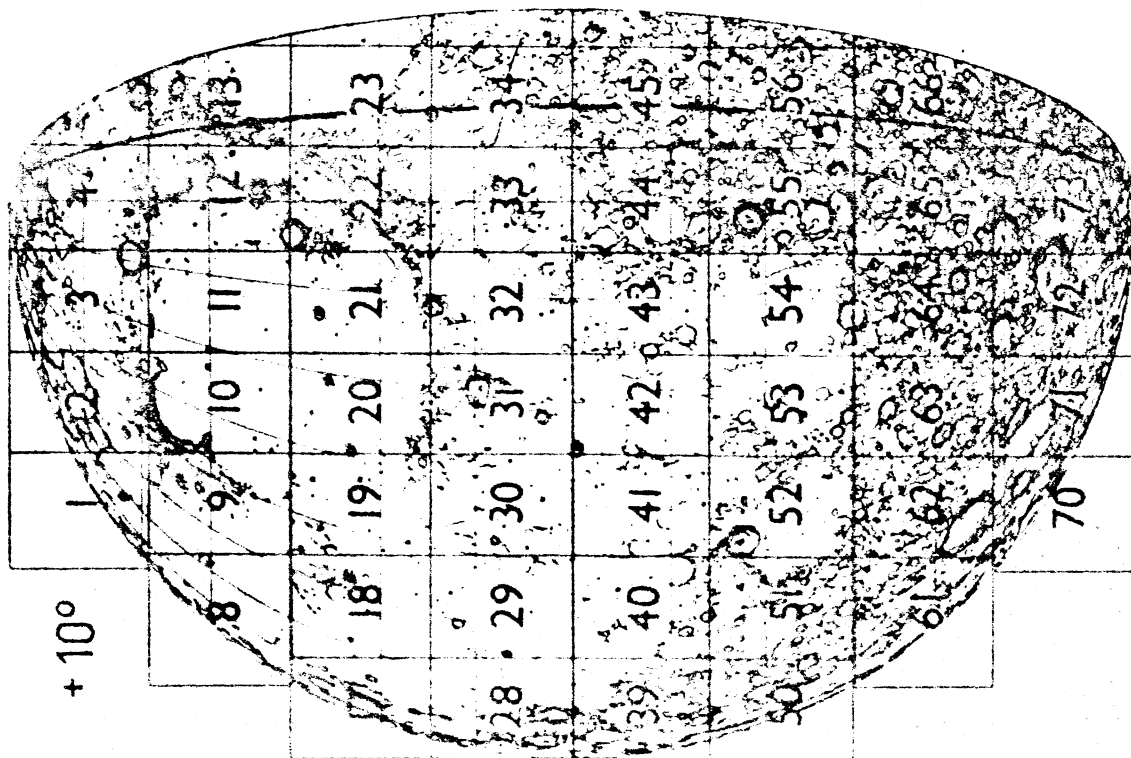


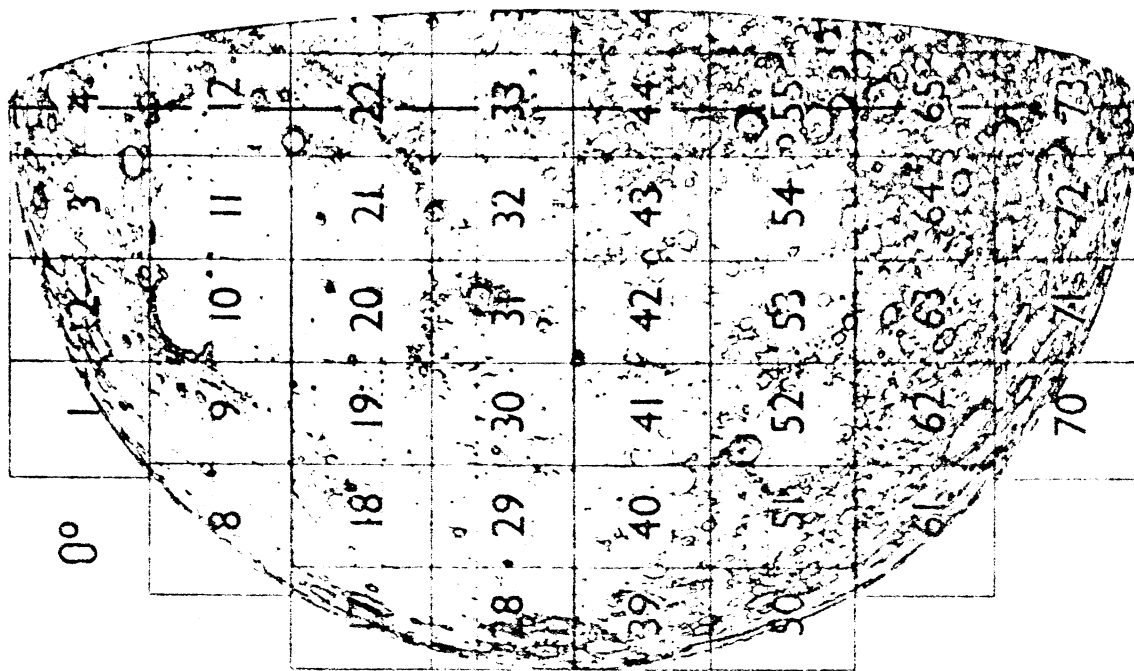
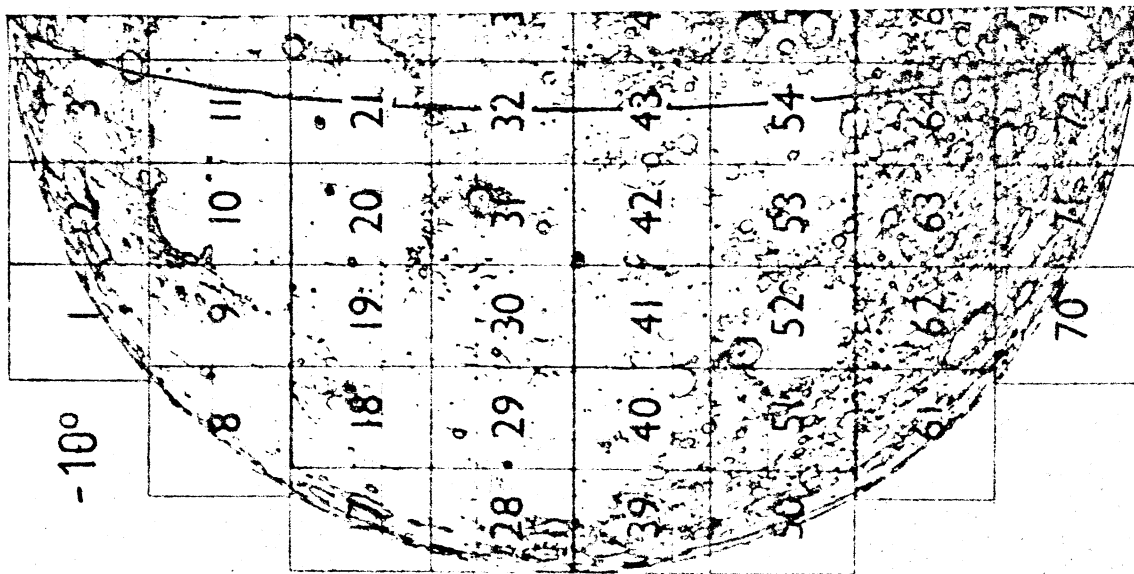
Selenographische Koordinaten

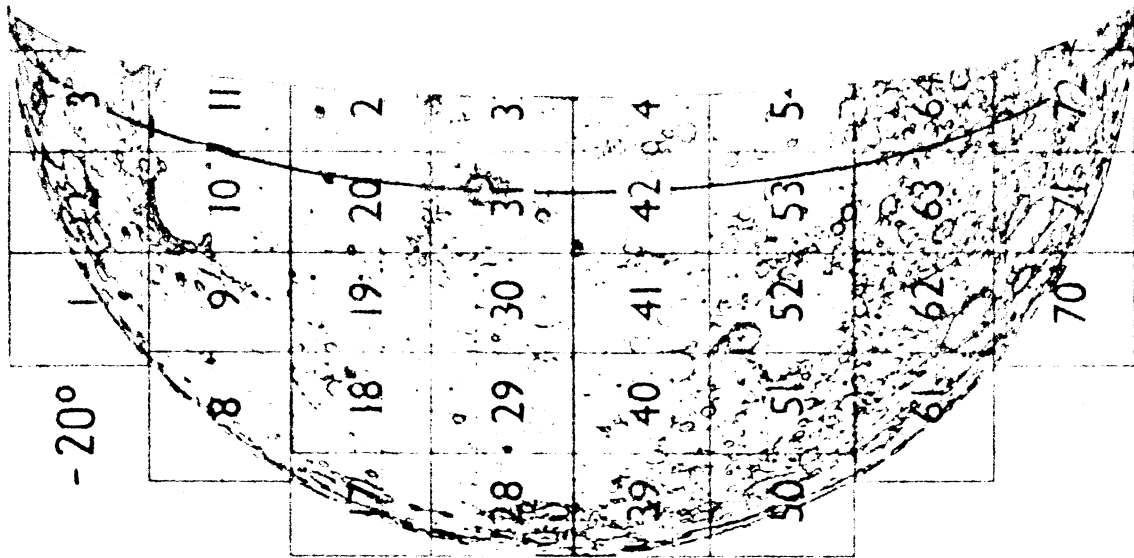
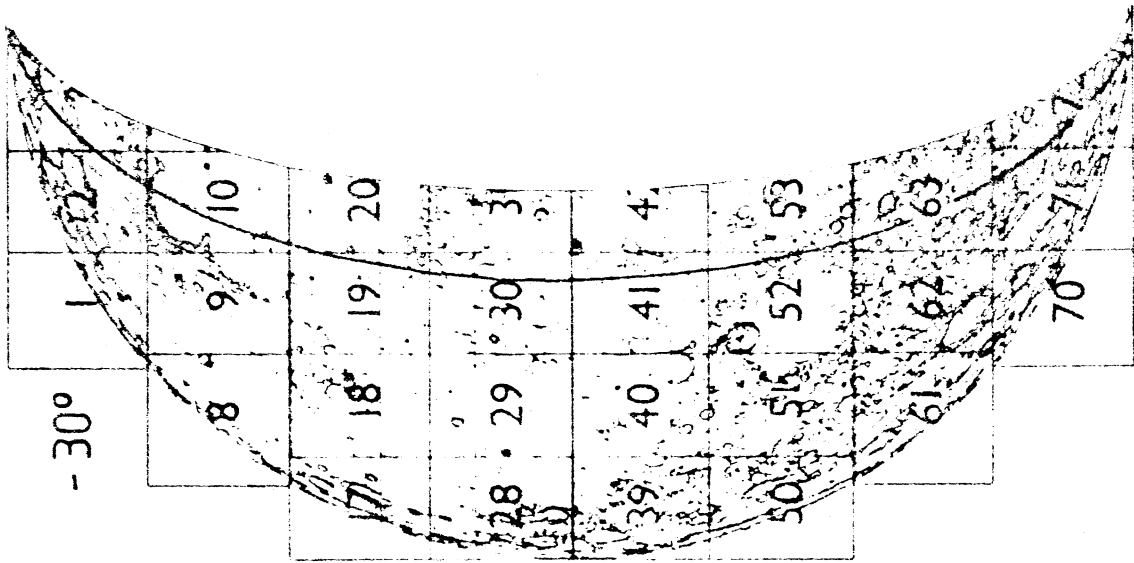
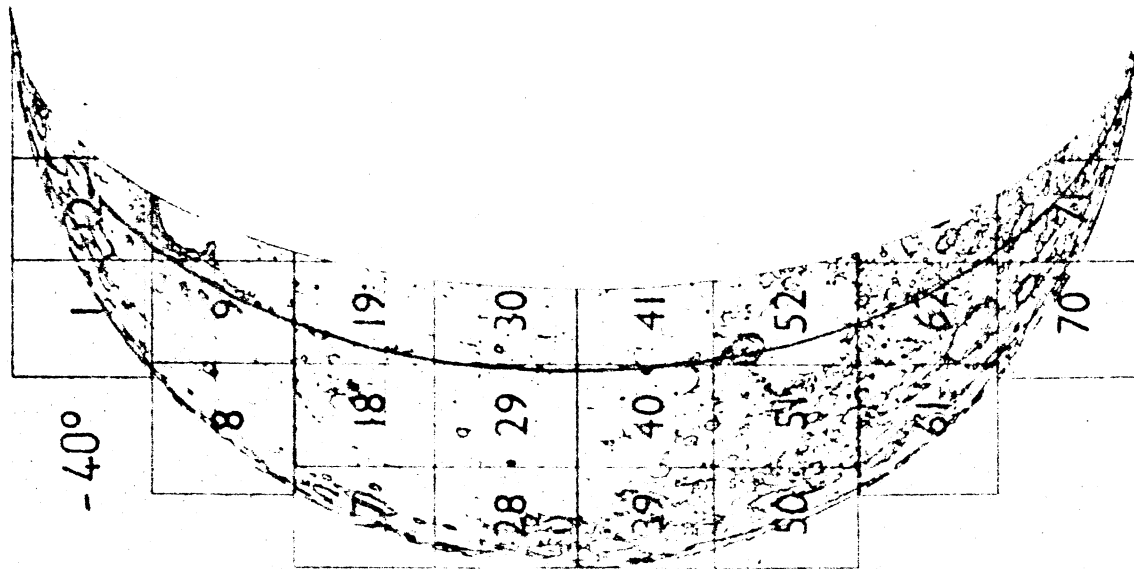
| | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | | | |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 |
| 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 |
| 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 |
| 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | | |
| 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | | | | |

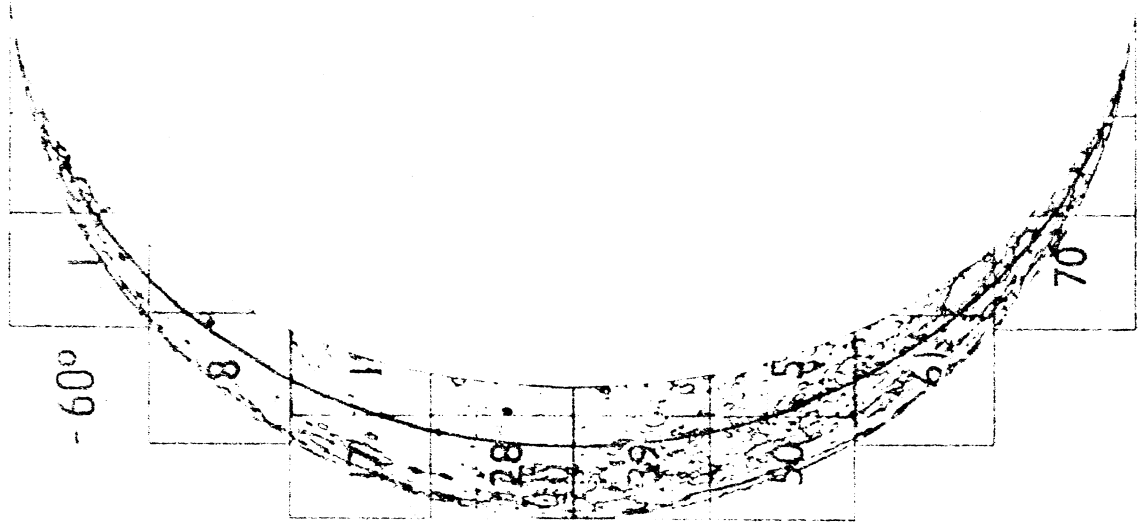
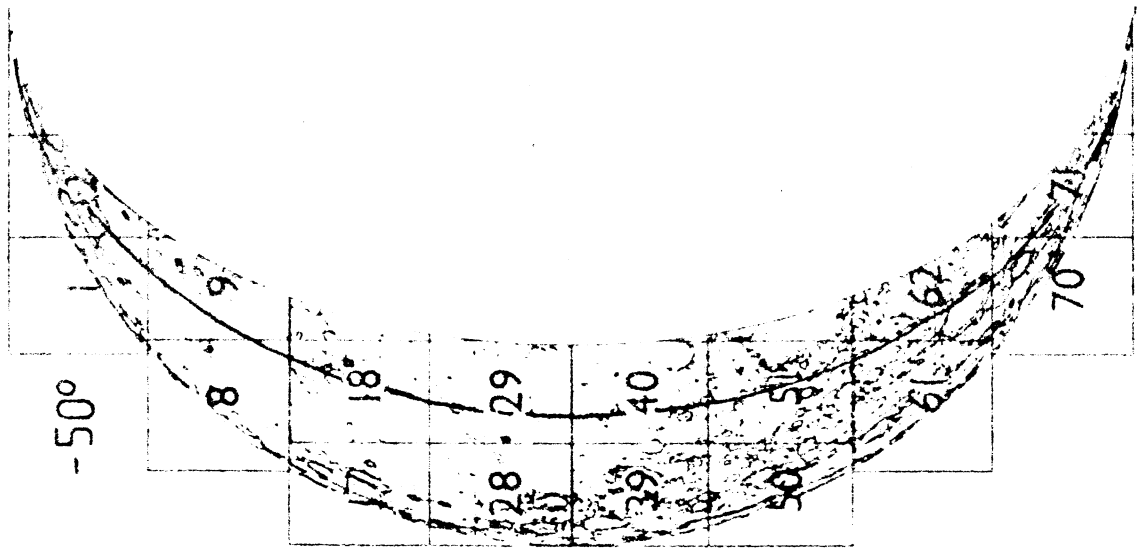


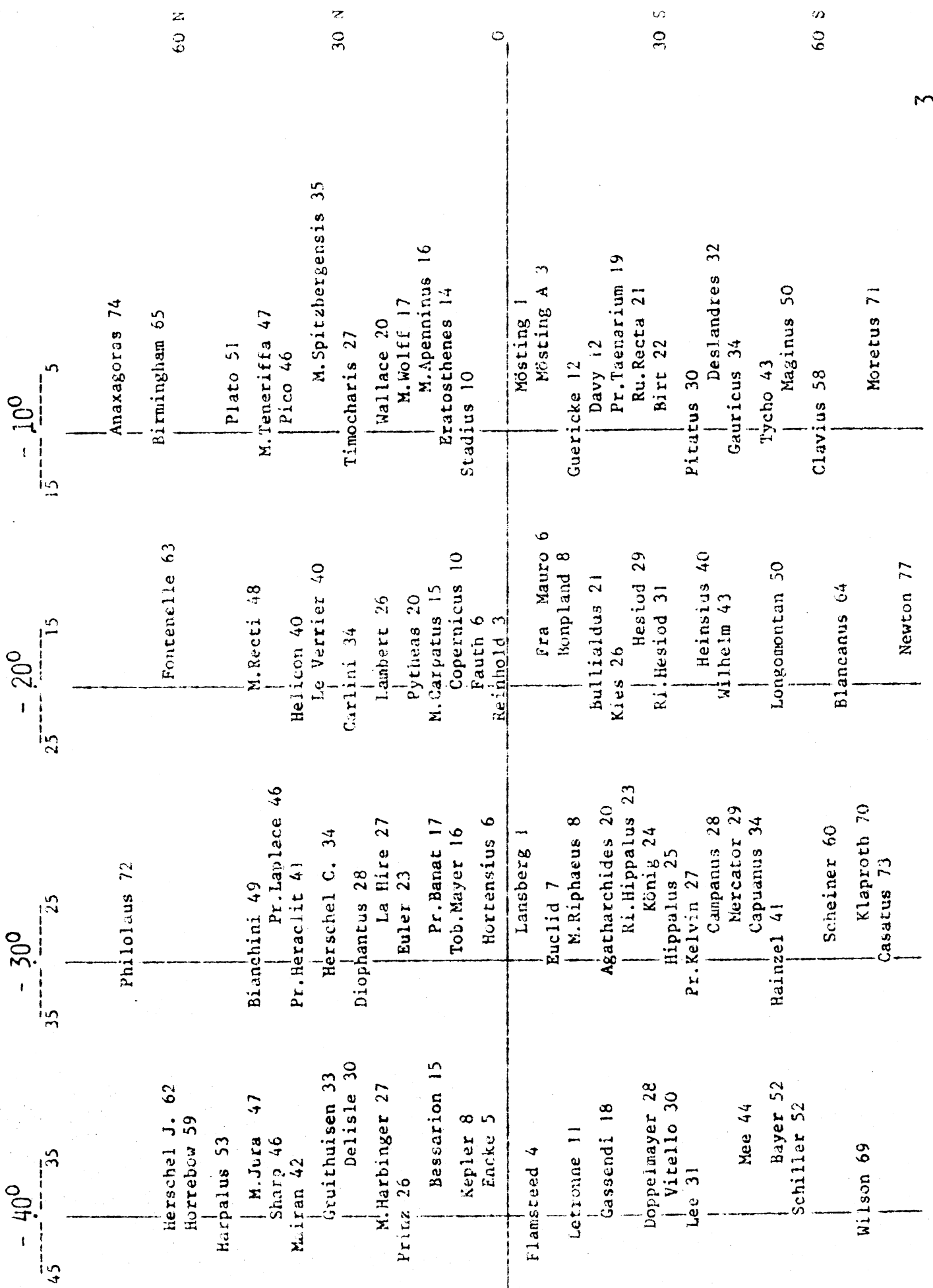


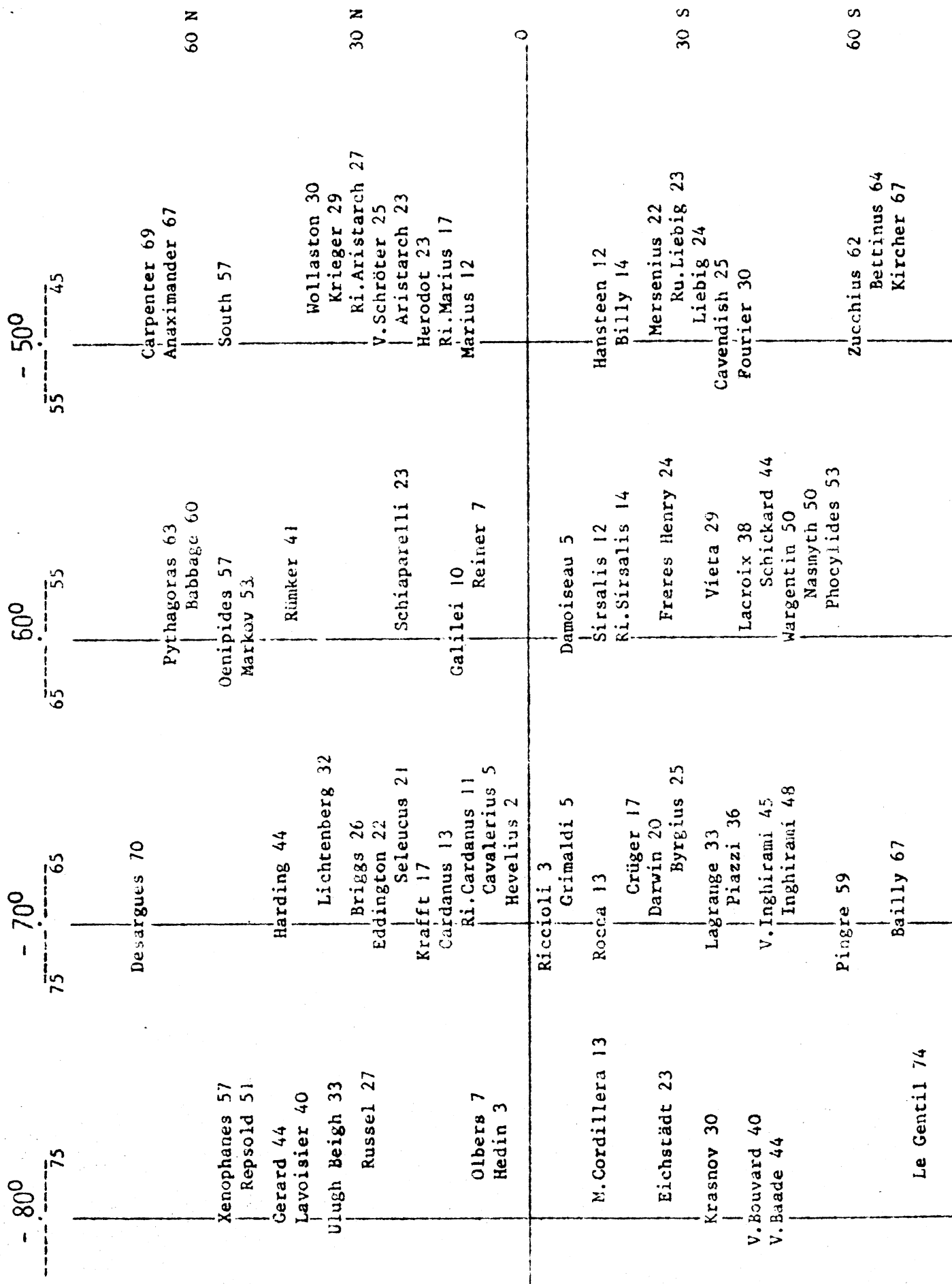












Gastvortrag: Selenodesy and Selenography.

A) Selenodesy

Similarly to geodesy, we can define selenodesy as a determination of the lunar surface points selenocentric positions and determination of the external gravitational field parameters.

We should have started with the selenographic coordinates, but you will find that in another paper of this seminar. Therefore let us proceed directly to photogrammetric triangulation from spacecraft photography.

This depends of knowledge of exposure station positions and camera orientations. The camera positions can be derived from the spacecraft ephemeris developed through integration of earthbased radar observations of the spacecraft. Required camera orientation angles are determined with respect to stellar reference through companion stellar cameras, star trackers or spacecraft inertial measurement units.

Early photogrammetric triangulation from spacecraft photography in 1966 - 1970 was based on Lunar Orbiter Missions. In 1969, a positional reference system on the lunar farside was established using Lunar Orbiter Photographs. Very promising for the selenodetic improvement through photogrammetric triangulation are the photographs and data acquired from Apollo Missions 15, 16, and 17. These missions provide coverage of about 20% of the lunar surface between 30° N and S latitude. The Apollo Metric Camera System enables not only to establish exposure station position as well as camera orientation, but, in addition, the laser altimeter component simultaneously recorded the distance to lunar surface. With these possibilities the position on the lunar surface can be derived with an accuracy of 20 - 40 m, which is comparable with the results of the former lunar triangulation of the first order points (Mösting A).

A.1) The shape of the Moon

The main task of selenodesy is to define the true shape of the Moon. For that purpose, the selenographic coordinates l and b are insufficient, because they specify only the direction of the radius-vector from the centre of the Moon to the respective point. In order to specify completely the position of that point in space, the third coordinate is required which specifies the distance of that point from the Moon's centre. Or, which is equivalent, its elevation above the mean spherical surface of the Moon.

Today we know that the deviations of the Moon's actual surface from a sphere are of the order of ± 4 km. It means that within quantities

of the order of 0,2% of its mean radius (1738 km) the Moon can be regarded as a sphere.

Three methods were mainly used for that purpose:

- 1) Measuring the shape of the marginal zone
- 2) Stereoscopic techniques
- 3) Ranging techniques

ad 1) Measuring the shape of the marginal zone:

This method is restricted to the limb of the apparent lunar disk. The phenomenon of lunar librations will bring from time to time almost 18% of the entire lunar surface to the limb. The shape of this limb can be measured by the usual astrometric methods.

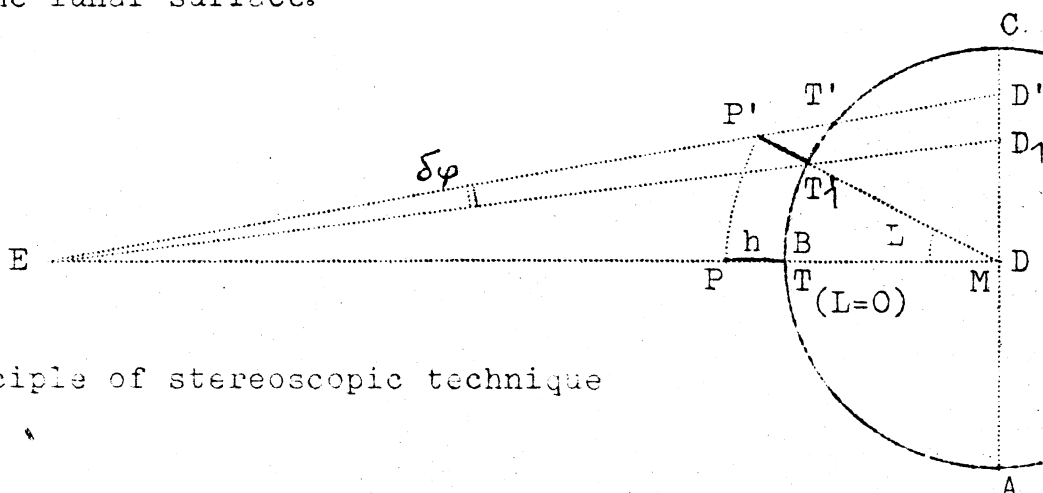
On the basis of visual observations or lunar photography extensive maps of the marginal zones of the Moon have been prepared by Hayn (1907), Weimer (1952), Nefediev (1957), Gorynia (1962) and Watts (1963).

The best but very rare occasions for measuring the exact shape of the entire lunar limb is given to us during annular eclipses of the Sun. The solar limb is known to be circular within 0,1" and therefore can be used as a reference circle.

The results of the observations show that the limb of the Moon (at the time of zero libration) has a shape of a deformed ellipse, elongated along an axis inclined by about 35° to the lunar axis of rotation (from SW to NE).

ad 2) Stereoscopic techniques:

This method is based on the fact that features on a non-spherical surface are displaced for the terrestrial observer in a different way for different libration angles than if they were located on a spherical surface. Of course, the method is equally applicable to a stereoscopic analysis of photographs taken from closer proximity to the lunar surface.



Principle of stereoscopic technique

The principle of the method is illustrated on the picture on the preceding page, where the arc ABC represents the lunar equator and M its geometrical centre; E denotes the Earth. Let us have a special case when the earthbased observer at E is observing the point P exactly in the centre of the visible disc. The fact that the point P is above the mean spherical surface in the height h cannot be perceived by the observer, because he can measure only its orthographic projection in D.

Let it now be assumed that the observer remains in E and the Moon rotates by the small angle of L (thanks to the libration). If the point P lies on the mean sphere - i.e. is identified with T - then the point T will move to T_1 with selenocentric angle L and, therefore, its location D_1 on the lunar disc can be predicted. But, if the point in question is above the mean sphere, then its projection on the lunar disc will be found outside the interval DD_1 and at the point D' . The distance D_1D' , as seen by the observer under the angle α is proportional to the height h.

The essential part of the stereo-technique rests on the accurate measurement of the distance D_1D' , where the point D' is recorded on a photograph as a projection of a small crater, hill, etc. and D_1 is fictitious and will be determined mathematically. The similar relations can be found for a general case. In any case, repeated measurements of many photographs must be used to improve the accuracy of the result.

Starting with the observations of Franz (1901) and Saunder (1905) we could follow the results of many investigators like

| | |
|--|--------------------|
| Schrutka-Rechtenstamm (1958) | 150 points |
| Baldwin (1963) | 696 points |
| U.S. Army Map Service (AMS), Lunar Control System (1964) | 256 points |
| A.C.I.C. Selenodetic System (1965) | approx. 900 points |
| D.O.D. Selenodetic Control System (1966) | 734 points |
| Kiew Lunar Triangulation (1967) | 500 points |
| Manchester Selenodetic Control System (1967) | 906 points |
| Tucson Triangulation System (1968) | 1355 points |

A graphic representation of the isohypses defining the deformations of the actual lunar surface, based on independent sets of data show many disagreements of an order of 1 km (or even larger by the older observations).

We should keep in mind that the parallactic displacements due to differences in elevation, caused by lunar librations, are very small

(of an order of a few 0,1"). Even the best possible observations made from the Earth are subject to errors comparable with the absolute values of the measured quantities.

Much more accurate data can be derived from lunar orbiting spacecraft photography.

ad 3. Ranging techniques.

As is well known, Apollo 11, 12 and 14 missions and Luna 17 and 21 deposited on the Moon cube corner reflectors, capable of returning laser signals flashed from the Earth. And from the timing of the return of such light "echos" the instantaneous distance between the transmitter on Earth and the reflector on the Moon can be determined with an accuracy of several meters or even better.

Much more extensive contributions were obtained using the laser altimeters on the Apollo 15 and 16 spacecraft which were revolving in nearly circular orbits around the Moon and continuously monitored by the tracking stations on the Earth. The altitude profiles obtained with this technique are very accurate, having total errors not exceeding several meters.

The Apollo altitude profiles disclose that the actual lunar surface deviates from the mean sphere in a very complicated manner. It was shown, that the mean value of the Lunar radius is close to 1737 km. Also, the shift of the centre of mass regarding the geometric centre of Moon's figure, as large as 2km, was disclosed in the direction of the meridian 37°E towards the Earth.

A.2) Selenoid

Another important method used in selenodesy is the investigation of the external gravitational field of the Moon. Beginning with the probe Luna 10 in 1966, an extensive analysis of the trajectories and orbits of space probes and the direct gravimetical observations at several Apollo landing sites were used to derive the parameters of the selenoid.

For the Moon, it is not possible to define the fundamental equipotential surface similarly to the geoid for the Earth, where the quiet surface of the sea is forming an equipotential surface. Therefore we define the selenoid as an equipotential surface of the selenopotential, passing through the points with the radius vector equal to the mean value of the Moon radius.

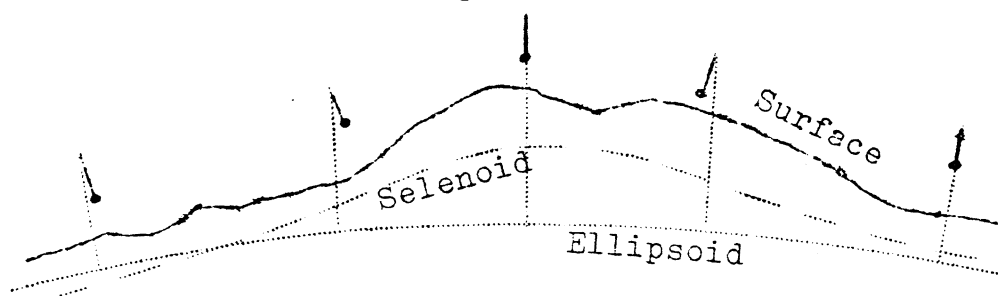
A graphic representation of the selenoid based on the numerical results of the harmonic analysis have a similar appearance like an isolevel contour map. The reference surface used for this purpose is the selenocentric tri-axial ellipsoid which fits the surface

of the selenoid best (The lunar ellipsoid has a shape very close to the sphere having - after Burša from ČSSR Academy of Sciences - the polar flattening approximately 1 : 2600 and the equatorial flattening approximately 1 : 7000).

The analysis shows that the deviations of a selenoid with respect to the ellipsoid are of an order of approximately ± 100 to 200 m.

For the mass interpretation of the gravity anomalies there is useful to study also a distribution of the deflections of the vertical in the areas of lunar mascons and other anomalous areas.

A deflection of the vertical is defined as a deflection of the normal at the respective point of the selenoid from the normal to the surface of the reference ellipsoid:



The distributions of the deflections of vertical shows that lunar mascons are formations considerably central symmetrical. Therefore, for the first approximation, an elementary interpretation can be accepted in a form of an anomalous mass (or mass point) below the surface. Following this approach, Burša has found the depth for several mascons mostly between 350 and 450 km.

So the external field of gravity close to the lunar surface depends mainly on the mass distribution in lunar crust (and mantle).

B) Selenography

At first glance one can recognize on the face of the Moon two principle types of ground. One is comparatively light, rough and broken up by many craters, mountains and other formations. This type is commonly called the continents. The other type of ground is darker, much smoother and frequently almost flat. It is called maria.

A closer look at the Moon reveals a rather complex array of rather countless formations, no two of which are exactly alike - craters, ring mountains, walled plains, rayed craters, wrinkle ridges, rilles, domes etc.: For detailed description see literature at the beginning of this seminar.

B.1) Relative elevations on the Moon.

Determining heights of lunar mountains by measuring the length of the

shadow cast by the peak dates back to the 18th century. Knowing the length of the shadow and the corresponding altitude of the Sun one can determine the height of the feature relative to the surrounding area. It can be done with a very good accuracy, because at low altitudes of the illuminating sunlight the shadow magnifies any altitude difference by as much as a factor 100 near sunrise or sunset.

At the first approximation we assumed that the shadow of the peak is cast on a sphere. The lunar surface is, however, by no means smooth in detail and the shadow method should enable us to ascertain not only the relative altitude but also the irregularities or undulations of ground on which the shadow is cast.

Another important fact which must be taken into account is the apparent angle diameter of the Sun as seen from the Moon, which is approximately $0,5^{\circ}$. This fact is bound to provide all lunar shadows with a penumbra covering regions, from which the lunar observer can see the solar disc partially set. For this reason, the accurate angular lengths of lunar shadow cannot be easily obtained by any visual settings possible with the micrometer, but it must be sought by micro-densitometric tracings. This method was developed by the lunar group of the Manchester University, led by Prof. Kopal.

A majority of the hypsometric data incorporated in lunar maps before the end of sixtieths was provided by measuring lunar shadows. More precise relative heights are obtainable through spacecraft photography by employment of the same principles of photogrammetric intersection, as described above.

Beginning with the Lunar Orbiter Mapping in 1967 the photogrammetric method was extensively used for the compilation of contours enabling measuring the relative heights with an accuracy of several meters.

B.2) Mapping of the Moon.

The mapping itself can be defined as a threedimensional description of permanent features which are characteristic of the lunar surface. The history of lunar mapping can be divided in two periods: The first one between 1600 and 1960 and the second one since 1960.

The common feature of the charts before 1960 was the fact, that each map was created by one author only - a cartographer and observer in one person. The maps of the first period are known under the names of famous selenographers like Langrenus, Hevelius, Grimaldi, Cassini, Tobias Mayer, Schröter, Lohrmann, Mädler, Schmidt, Fauth, Wilkins and others. Many of them spent decades working on one chart! Sorry to say that the old charts including those published before 1960 have only a historical value.

Before the end of fiftieths the first lunar missions opened a new era in the exploration of the Moon. It was clear now, that all previous lunar charts are out of date, having very low accuracy from the point of view of the planned lunar missions. In the U.S.A. a comprehensive lunar mapping program was initiated in 1958. In the course of this program - the greatest in the history of our subject - mapping of the Moon became a teamwork. No more one person, but large groups of professional astronomers and cartographers, leading observatories and mapping agencies took part in producing maps of highest quality.

At the beginning of this renaissance of selenography the photographic atlases should be named:

- Photographic Lunar Atlas (1960), consists of 281 photographs selected from over 1200 best available prints from Mt. Wilson, Lick, McDonald, Yerkes, and Pic-du-Midi Observatories, the "Kuiper Atlas".
- Orthographic Atlas of the Moon (1961)
- Rectified Lunar Atlas (1963)
- Consolidated Lunar Atlas (1967), consisting of 226 photographs of superior quality, taken mostly with 61 inch NASA telescope at Catalina Observatory. Better than "Kuiper Atlas", it will probably remain the last and the best earthbased professional lunar atlas.

Looking at the photographic atlases, the question might be asked, why to produce a chart? The answer: A well prepared chart can reflect the best qualities of many photographs. Albedo and illumination variations and camera-induced imperfections often obscure or obliterate the very details the map is designed to portray.

An outstanding place in the long history of lunar mapping has the Lunar Astronautical Chart (called LAC) in 1 : 1 000 000 Scale. It was a new type of chart in many respects:

- a) The large scale 1:10⁶. 144 sheets for the whole Moon
- b) LAC sheets are laid out in three types of conformal projections, showing the features in their true shapes.
- c) A new technique of drawing lunar charts were developed, using an airbrush for portraying lunar relief.
- d) The LAC charts were drawn with North at the top, following the resolution of IAU in 1960. For this "Astronautical Orientation" see a previous paper on selenographic coordinates.
- e) For each LAC chart several thousands shadow-measurements were made for determination of relative heights. For that purpose,

about 60.000 photographs were taken with the Pic-du-Midi 24 inch refractor from 1961 to 1966.

From 1960 to 1967 forty four LAC's were completed, covering the majority of Lunar Nearside except of the limb areas.

Lunar mapping in large and very large scales began with the series of Ranger Lunar Charts, called RLC. Based on the Ranger Missions VII, VIII and IX in 1964-1965, these charts are covering the impact areas from the respective probes in the scales down to 1 : 1000.

Perhaps the most important result of selenography in sixtieths was the extending lunar maps to the Farside. The first map of the Farside of the Moon was published in the U.S.S.R. in March 1960. Based on the first photographs of the Farside taken by Luna 3, the first map was schematic only. In 1965, the coverage of the Farside was extended by Zond 3 and the cartographic results of that mission were published in 1967 in 1 : 5 000 000 scale Complete Chart of the Moon.

The next important step was the Lunar Farside Chart, LFC, based on Lunar Orbiter I-IV photographs and published in August 1967. The first edition, presented at IAU Meeting in Prague, had acquired about 75% coverage of the Farside. Photographs of the missing areas were acquired by Orbiter V, which permitted LFC to be reissued in October 1967 with complete hemispherical coverage. Since that date, we have the whole Moon Globe mapped, except of 1% of the Moon's surface near the South Pole.

B.3) Lunar Nomenclature.

The foundation of the current system of nomenclature were laid by Riccioli (1651). He based his nomenclature on maps of previous observers, Hevelius and Langrenus. From Hevelius took Riccioli the idea of naming the lunar mountain ranges after the mountains of the Earth, and also calling the dark areas maria. Using the example of Langren's map of 1645, Riccioli named craters after contemporary, medieval and ancient astronomers.

Lunar nomenclature was further developed especially by German Selenographers Schröter (1791, 1802) and Beer and Mädler (1837). They added many new names and Beer and Mädler introduced a system of lettered craters.

The first international accepted nomenclature was agreed as late as 1935. This system, containing 672 names and prepared by Mary A. Blagg and Karl Müller for IAU was published under the title "Named Lunar Formations: Catalogue and Map". Since that time, the IAU has been the only authority over all changes and editions to lunar nomenclature.

Further development took place in 1960s. In 1961 the IAU accepted the first names given to the Farside formations photographed by Luna 3. An additional innovation introduced at the IAU Meeting in 1964, apart of the acceptance of 66 new names was the general latinisation of all terms used in designating topographical formations (e.g. montes for mountains, rima for rille, vallis for valley etc.).

A great year in development the lunar nomenclature was 1970, when the XIV. General Assembly of the IAU in Brighton accepted 513 new names, mostly for the Farside formations.

Then a far-reaching reform was introduced in Sydney 1973. It was realized that the nomenclature system in use did not meet the requirements of detailed mapping (for scales of 1 : 250 000 and upwards) and the designation of a large number of small craters by groups of letters was unsatisfactory. A new system was proposed, based on the layout of LAC map, subdividing the Moon in 144 regions. Each region is further divided into 16 sections and each section should carry the name of some local crater. One problem caused by this system is the lack of a sufficient number of named craters in these sections, since even the Nearside has approximately another 500 craters to be named. All in all about 10.000 new names are needed for the whole face of the Moon.

In any case, the small scale charts of the Moon designed for the amateurs will not be affected very much by this changes.

Literature:

Z.Kopal, R.W.Carder, Mapping of the Moon. D.Reidel Publishing Comp., Dordrecht, Holland 1974.

M.Burša, Determination of Parameters of a Selenocentric Reference System and Deflections of the Vertical at the Lunar Surface. XV. IUGG General Assembly, Moscow 1971.

Continuation and updating of this work: See Bulletin of Astronomical Institute of the Czechoslovakian Academy of Sciences, 1977.

Dipl.Ing.Antonin Růkl

Observatory and Planetarium Praha

Planetarium Praha

170 00 P R A H A 7

Č.S.S.R.

Referat: Anblicke der Mondlandschaften

1. Einleitung

Wenn wir bei Vollmond zum Mond blicken, dann können wir nur die Gebiete unterschiedlicher Graufärbung erkennen. Von den Kratern, Bergen, Geländestufen und -wellen erkennen wir nichts.

Werden die Mondformationen von der Seite beleuchtet, wie dies etwa bei den Viertelphasen der Fall ist, dann werfen sie lange Schatten. Da der Mond keine Atmosphäre besitzt, sind diese Schatten extrem hart, es gibt auf dem Mond keine Dämmerungserscheinungen.

Ziel dieses Referates ist es, diese Schatten richtig zu interpretieren. Für einen ungeübten Beobachter ist es nämlich nicht immer leicht, sich ein Bild von den wahren Dimensionen der Mondlandschaft zu machen.

Dazu ein einfaches Beispiel:

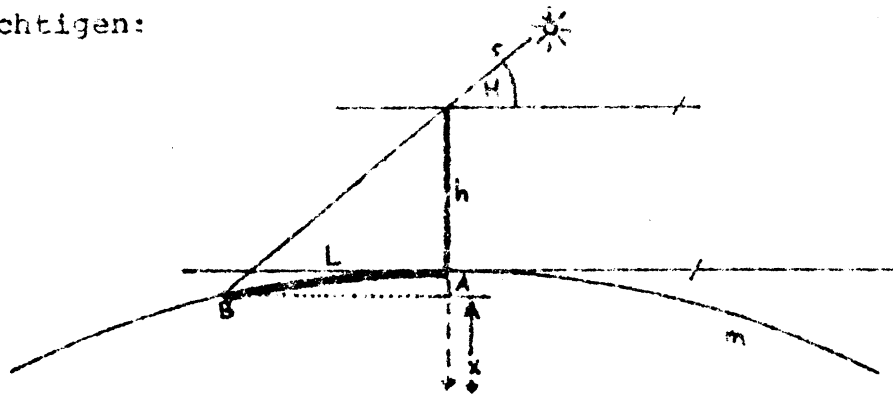
Ein (hypothetischer) außerirdischer Besucher fliegt in den Abendstunden, knapp vor Sonnenuntergang, über eine irdische Stadt. Er hat den Auftrag, festzustellen, wie groß die Erdbewohner sind. Er kann die Menschen nur von oben erkennen, da er ja die Stadt überfliegt. Also kann er nicht direkt auf die Größe der Erdbewohner schließen. Da fallen ihm die Schatten, die die Menschen werfen, auf. Erschrocken stellt er fest, daß ein Mensch im Durchschnitt einen 50 m langen Schatten wirft. Wie groß sind dann die Erdbewohner? Hätte unser Besucher kurz nachgerechnet, dann wäre er draufgekommen, daß ein Mensch, der bei 2° Sonnenhöhe einen 50 m langen Schatten wirft, ca. 1.70 m groß ist.

2. Typische Mondformationen und ihre Anblicke

Kleine Krater sehen oft wie tiefe Löcher aus, wenn das Sonnenlicht seitlich in sie einfällt. Bei großen Kratern können wir oft bizarre Schatten ihrer Kraterwälle ins Kraterinnere fallen sehen. In den großen Wallebenen erkennen wir ebenfalls die bizarren Schatten der Ringwälle. Berge werfen oft viele Kilometer lange Schatten auf die großen Ebenen, die Schatten der Kettengebirge ziehen als Zickzacklinie durch die Landschaft. Höhenstufen präsentieren sich als messerscharfe Linien im Gelände, die oft einen langen und breiten Schatten werfen.

Fortsetzung Referat: Anblicke der Mondlandschaften

Nun müssen wir auch noch die Krümmung der Mondoberfläche berücksichtigen:



Hier liegen die Verhältnisse nicht mehr so einfach. Das Objekt mit der Höhe h am Ort A wird von der Sonne aus der Höhe H (am Ort A) beleuchtet und wirft einen Schatten nach B . Wir berechnen analytisch den Schnitt der Schattenlinie s mit der Mondkugel m und erhalten zwei Schnittpunkte, von denen uns jedoch nur einer interessiert. Wir berechnen zunächst x mit

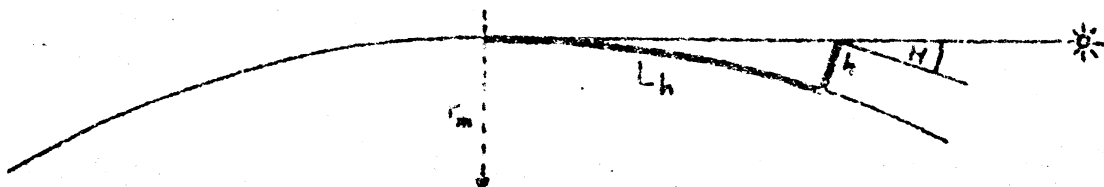
$$x_{1,2} = (h + r_m) \cos^2 H + \sin H \sqrt{r_m^2 - (h + r_m)^2 \cos^2 H}$$

wobei der größere x -Wert die Lösung darstellt.

Die Schattenlänge L erhält man dann aus

$$L = \frac{2r_m \pi}{360} \arccos \frac{x}{r_m}$$

Bei obiger Formel fällt auf, daß der Wert unter der Wurzel negativ werden kann. Dies hat seine Begründung darin, daß auf der gekrümmten Mondoberfläche Schatten nicht beliebig lang werden können. Es gibt eine maximale Schattenlänge, die erreicht wird, wenn der Schatten die Mondkugel tangiert:



Aus obigen Überlegungen erhalten wir die maximale Schattenlänge L_h zu einer Objekthöhe h zu

$$L_h = \frac{2r_m \pi}{360} \arctan \sqrt{\frac{h}{r_m} \left(\frac{h}{r_m} + 2 \right)}$$

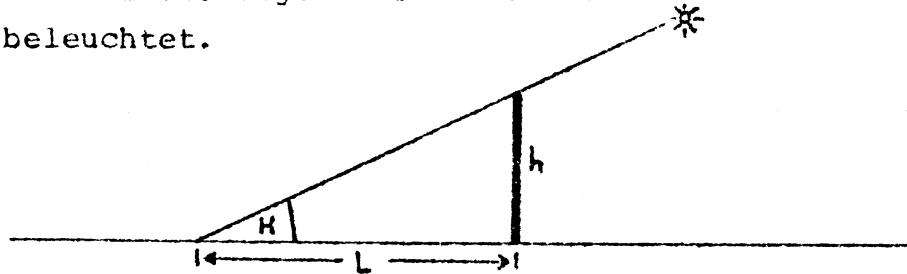
r_m ist in obigen Fällen stets der Radius der (idealisierten) Mondkugel.

Fortsetzung Referat: Anblicke der Mondlandschaften

Wir wollen nun schrittweise analysieren, wie man aus diesen Anblicken auf die tatsächlichen Formen schließen kann.

3. Über Schattenwurf

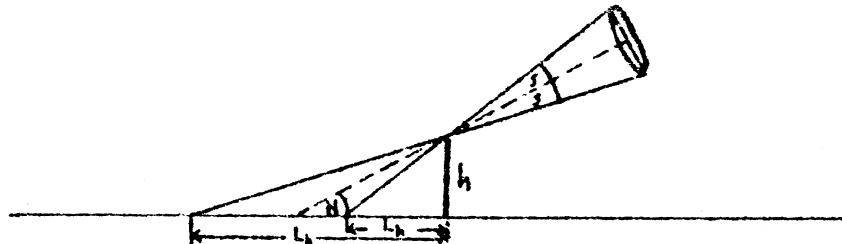
Wir nehmen zunächst eine Ebene an, auf der ein Objekt der Höhe h steht. Dieses Objekt wird nun von oben unter einem Winkel H beleuchtet.



Eine einfache trigonometrische Überlegung zeigt, daß für die Schattenlänge L gilt:

$$L = \frac{h}{\tan H}$$

Nehmen wir nun eine flächenhafte Lichtquelle mit einer Winkelausdehnung $2s$. Bei flächenhaften Lichtquellen gibt es einen Kernschatten und einen Halbschatten.



Für die Längen L_k des Kernschattens und L_h des Halbschattens erhalten wir

$$L_k = \frac{h}{\tan (H+s)} \quad \text{und} \quad L_h = \frac{h}{\tan (H-s)}$$

Die Sonne hat eine Winkelausdehnung von $2s = 30'$ im Mittel, also $s = 15'$.

Sei $H = 5^\circ$, $h = 2000\text{m}$, so ist $L_k = 21.8 \text{ km}$ und $L_h = 24.1 \text{ km}$.

Die Halbschattenzonen auf dem Mond werden also nur wenige km breit, sodaß wir für unsere folgenden Betrachtungen die Sonne als punktförmige Lichtquelle annehmen können.

Fortsetzung Referat: Anblicke der Mondlandschaften

Beispiele: $h = 2000\text{m}$, wie lang kann der Schatten werden?

wir nehmen $r_m = 1700\text{km}$, also ist $L_{2000} = 82.4 \text{ km}$.

$h = 2000\text{m}$, $H = 2.7779^\circ$, wie lang wird der Schatten?

wieder $r_m = 1700\text{km}$, $L = 82.4 \text{ km}$.

4. Zur Berechnung der Sonnenhöhe H

Die folgende Anleitung soll ermöglichen, für einen gegebenen Zeitpunkt und für einen gegebenen Ort auf dem Mond die Sonnenhöhe H zu berechnen.

Aus einem Jahrbuch oder durch eigene Rechnung bestimme man: geozentrische Mondlänge λ und geozentrische Mondbreite β , äquatorale Horizontalparallaxe π des Mondes in Bogenminuten, Länge des aufsteigenden Knotens Ω und des Perigäums Π , die mittlere Anomalie der Sonne M_s , die Sonnenlänge λ_s , den Radiusvektor der Sonne R und die mittlere Mondlänge L_0 .

Weiters sind $I = 1^\circ 33'$ die Neigung des Mondäquators zur Ekliptik und ζ, η die Koordinaten des Ortes auf dem Mond.

λ_H und β_H sind die heliozentrischen Mondkoordinaten,

l_s und b_s die Koordinaten des subsolaren Punktes auf dem Mond.

$$\lambda_H = \lambda_s + 180^\circ + \frac{8.80}{60\pi R} \cdot 57.296 \cos \beta \sin(\lambda_s - \lambda), \quad \beta_H = \frac{8.80}{60\pi R} \beta$$

$$\mu = \arcsin(\tan^2 \frac{I}{2} \sin 2(\lambda - \Omega))$$

$$A = \sin I \cos(\lambda - \Omega)$$

$$B = \arctan(-\tan I \sin(\lambda - \Omega))$$

$$M = 0.04 \sin(\Pi - \Omega) - 0.003 \sin(\ell - \Omega)$$

$$N = 0.02 \cos(\Pi - \Omega) + 0.003 \cos(\ell - \Omega)$$

$$b'_s = B - \beta_H, \quad l'_s = \lambda_H + \mu + A b'_s - L_0$$

$$\delta l_s = 0.003 \sin(L_0 - \Pi) - 0.005 \sin 2(L_0 - \Pi) - 0.016 \sin M_s + (M \sin l'_s - N \cos l'_s) \tan b'_s$$

$$\delta b_s = M \cos l'_s + N \sin l'_s$$

$$l_s = l'_s + \delta l_s, \quad b_s = b'_s + \delta b_s, \quad c_s = 90^\circ - l_s$$

$$\sin H = \sin b_s \sin \zeta + \cos b_s \cos \zeta \sin(c_s + \eta)$$

Damit ist die Sonnenhöhe bestimmt.

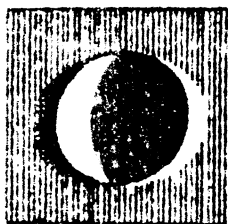
5. Überblick über die wichtigsten Mondformationen

Es soll nun eine Übersicht über die wichtigsten Mondformationen und über deren Erscheinungsform infolge Beleuchtung gegeben werden. Es werden Anblicke sowie falsche und richtige Interpretationen angegeben.

Fortsetzung Referat: Anblicke der Mondlandschaften

5.1 Kleinere Krater

Bei schräger Beleuchtung erwecken sie den Eindruck von tiefen Löchern mit steilen Begrenzungen. Es handelt sich jedoch um flache Wannen:



Anblick



falsche

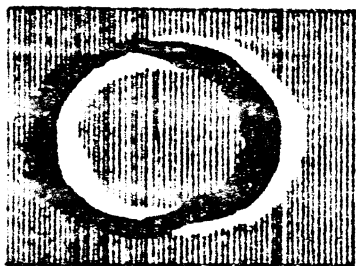


richtige

Interpretation

5.2 Wallebenen

Auch die Begrenzungen der Wallebenen sind nicht so hoch, wie es der Schattenwurf vertäuscht. Stünde man am Fuß des Walles, so würde man bei größeren Wallebenen den Wall hinter dem Horizont versinken sehen.



Anblick



falsche

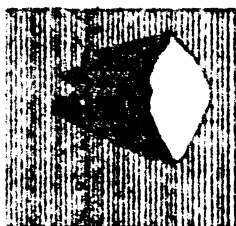


richtige

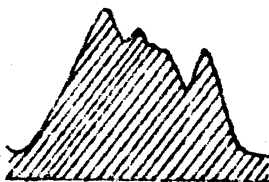
Interpretation

5.3 Einzelne Berge

Oft täuscht Schattenwurf ein schroffes Profil mit steilen Hängen vor. Die Mondberge sind jedoch flach, durch flach einfallendes Sonnenlicht wird das Profil aber bis zu 20-fach überhöht.



Anblick



falsche



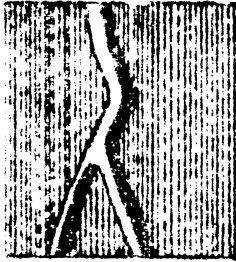
richtige

Interpretation

Fortsetzung Referat: Anblicke der Mondlandschaften

5.4 Rillen, Furchen

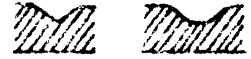
Bei flacher Beleuchtung sehen diese Rillen oft wie kilometer-tiefe Risse in der Mondkruste aus. Sie sind jedoch selten tiefer als 300 m.



Anblicke



falsche



richtige

Interpretation

5.5 Bodenwellen, Geländeabfälle

Oft würde man solche Wellen, stünde man auf dem Mond, gar nicht wahrnehmen, da auf eine Strecke von einigen km das Gelände nur etwa 50 m ansteigt. Durch die harten Schatten auf dem Mond treten aber auch diese Formen in Nähe des Terminators deutlich hervor.



Anblick



falsche



richtige

Interpretation

Die berühmte "Lange Wand" (Rupes Recta) ist ein solcher Geländeabfall. Sie ist etwa 7° geneigt und 250-300m hoch.

Kleine Krater werden einige 100 m tief, größere Krater können bis zu 5000m Tiefe erreichen. Dann haben sie aber schon einen Durchmesser von 50 - 100km. Wallebenen werden nicht so tief, da ihr Inneres ja mit Lava aufgefüllt ist. Sie haben Durchmesser bis zu 300 km. Die höchsten Berge auf dem Mond erreichen etwa 6000 m Höhe.

6. Ergebnisse

Wir haben gesehen, wie wichtig es ist, die Dimensionen der Mondlandschaft richtig zu beurteilen.

Wenn man einmal Höhen richtig schätzt, stellt man überrascht fest, daß die Strukturen, die man im Fernrohr erkennt, sehr groß und flach sind. Wie groß sind nun eigentlich die einzelnen Details?

Fortsetzung Referat: Anblicke der Mondlandschaften

Der Mond hat einen Durchmesser von 3400 km etwa und erscheint uns am Himmel im Mittel etwa 30' groß; ein km auf dem Mond (im Scheibenmitte) erscheint uns daher im Mittel unter einem Winkel von 0.53" ! Nur wenige Fernrohre sind in der Lage, so kleine Winkel aufzulösen.

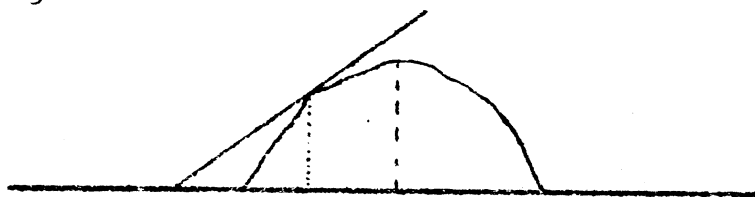
Photographiert man den Mond und vergrößert man sein Bild auf 50 cm (was nur bei erstklassigen Mondaufnahmen ratsam ist), so ist 1 km auf dem Mond 0.15 mm auf der Aufnahme.

Die Entfernungen auf dem Mond werden daher gerne unterschätzt. Ein Krater, der auf obiger Aufnahme 5mm groß ist und uns daher klein erscheint, ist in Wirklichkeit 34 km im Durchmesser groß.

Messen wir den Schattens eines Hanges dieses Kraters, wenn er nahe dem Terminator steht, zu 0.5 mm, so ist der Krater nicht etwa 3400m höher als seine Umgebung. Steht die Sonne etwa 5° hoch, so ist (vereinfacht gerechnet) der Wall knappe 300 m hoch. Das Verhältnis Durchmesser zu Höhe des Kraters beträgt also 0.009, das Verhältnis Durchmesser zu Schattenlänge 0.1; wir dürfen uns nicht durch die zehnfache Überhöhung stören lassen.

Aus den Rechenanleitungen in Abschnitt 3 und 4 wären wir nun auch in der Lage, auf dem Mond Berghöhen zu bestimmen. Es treten jedoch zwei Probleme auf:

- 1) Schatten gehen nicht vom höchsten Punkt eines Berges aus:



- 2) Um Berghöhen auf 100 m genau zu bestimmen, müssten wir bei 5° Sonnenhöhe etwa wegen der zehnfachen Überhöhung die Schattenlänge auf 1000 m = 1 km genau messen. 1 km auf dem Mond sind 0.53" im Fernrohr oder 0.15 mm auf obiger, 50 cm großer Mondaufnahme.

Man braucht also schon ein großes Fernrohr und optimale Luftverhältnisse, um Berghöhen auf dem Mond zu bestimmen, dann aber ist es eine reizvolle Beobachtungsaufgabe.

Reizvoll ist auch, die Veränderungen im Schattenwurf über einige Stunden hinweg zu verfolgen, man erhält dadurch ein richtiges Landschaftsprofil.

Alexander Pikhard
Pratergasse 25A
1090 Wien

Referat: Das Lunar Orbiter Programm.

a. Vorgeschichte des Lunar Orbiter Programms

Als 1961 in den USA Präsident John F. Kennedy seinem Land den Mond als Ziel noch in diesem Jahrzehnt setzte, waren noch viele Fragen zu klären. Am 12. Sep. 1959 erreichte erstmals eine Raumsonde den Mond, die zweite Sonde des sowjetischen Luna-Programms. Seitens der USA wurden drei unbemannte Missionen geplant, um die nötigen Daten für die Apollo-Flüge zusammentragen zu können: Ranger, Surveyor und Lunar Orbiter.

Das Ranger-Programm war von 1961 an mit 6 Sonden erfolglos und erst mit dem Aufprall von Ranger 7 am 31. Juli 1964 im Mare Nubium kam es zum Erfolg: In den letzten 45 Minuten vor dem Aufprall hatten die 6 Fernsehkameras 4316 Aufnahmen gemacht, die ersten aus 3200 km, die letzten aus nur 530 m Höhe über dem Mondboden, mit 30cm großen Einzelheiten. Nach 7 Monaten folgte Ranger 8 und am 24. März 1965 zerschellte Ranger 9 im Alphonsus.

Auch das Surveyor-Programm hinkte hinter den sowjetischen Aktivitäten her: Am 3. Februar 1966 landete Luna 9 weich und erst am 2. Juli 1966 folgte Surveyor 1. Von 7 Surveyor-Sonden waren nur 2 Versager. Die letzten 3 führten erstmals Mondgesteinsanalysen durch.

Während das Surveyor-Programm noch lief, wurde am 10. August 1966 Lunar Orbiter I gestartet.

b. Aufgaben des Lunar Orbiter Programms

Nach der am 31. Mai 1966 gestarteten Sonde Luna 10 wurde Lunar Orbiter I zum zweiten künstlichen Satelliten des Mondes und zum ersten, der photographische Aufnahmen übertrug. Die Hauptaufgabe dieser kleinen Monde bestand in der Übermittlung von Daten und Bildern, die zur Endauswahl der Gebiete führen sollte, in denen Menschen landen sollten. Der letzte der Lunar Orbiter Satelliten, Lunar Orbiter V, wurde am 1. August 1967 auf den Weg zum Mond gebracht. In nur rund einem Jahr photographierten die Lunar Orbiters Vorder- und Rückseite des Mondes und schufen damit die Grundlage zur Erstellung von Mondkarten, deren Detailreichtum denjenigen der von der Erde aus gewonnenen Mondkarten um ein Vielfaches übertraf. Die Mondphotos der Surveyor- und Lunar Orbiter Sonden führten zu der Auswahl von fünf Gebieten im Ausmaß von je 5x8 km, die alle Bedingungen erfüllten, die an Apollo-Landeplätze zu stellen waren. Diese waren:

1. Möglichst ebenes Gebiet mit wenig Kratern und Steinblöcken;
2. Keine hohen Berge oder Krater im Anflugbereich, durch die das Radar gestört werden könnte;

Fortsetzung Referat: Das Lunar Orbiter Programm.

3. Selenographische Lage, die einen Anflug unter möglichst geringem Treibstoffverbrauch ermöglicht;
4. Gebiete, die auch bei Startverzögerungen angefliegen werden können;
5. Eine Lage, die einen antriebslosen Rückflug der Kommandokapsel zur Erde ermöglichen würde, falls ein Einschwenken in die Mondumlaufbahn nicht möglich sein würde;
6. Sonnenhöhe beim Anflug $7-20^\circ$, im Rücken der Astronauten;
7. Kein größerer Abfall oder Anstieg des Geländes als 2° .

Außerdem hatten die Lunar Orbiter Sonden noch andere Aufgaben, von denen vor allem noch zwei erwähnt werden müssen: Es sollte die Häufigkeit von Meteoriten in Mondnähe festgestellt und erhoben werden, ob sie eine potentielle Gefahr für Apollo darstellen würden; aus den Bahnen der Orbiter Sonden wollte man genaue Messungen des Schwerefeldes des Mondes vornehmen.

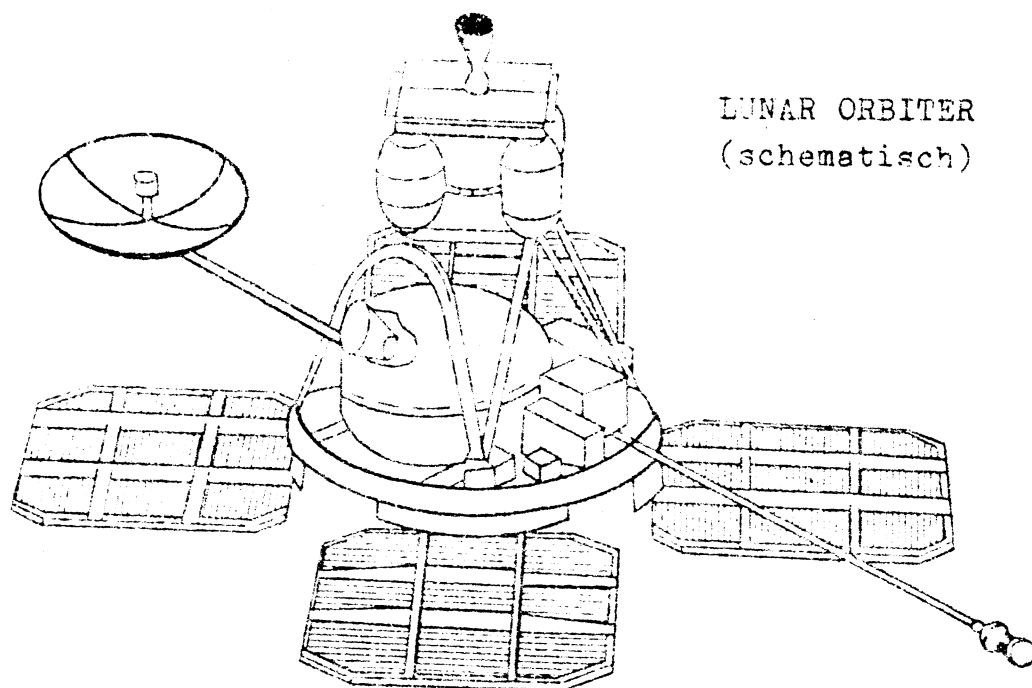
c) Aufbau und Instrumentierung der Lunar Orbiter Sonden

Ein Orbiter wog etwa 390 kp und erhielt seine elektrische Energie von vier Sonnenzellenflächen, die maximal 450 W liefern konnten. Es war ein Bahnkorrektur-Triebwerk vorhanden; die Orientierung wurde durch ein Inertial-Referenzsystem aus Kreiselkompassen gewährleistet und der Anschluß an das sphärische Koordinatensystem am Himmel wurde durch einen Sonnen- und einen Canopus-Sensor sichergestellt. Auch Lageregelungs-Triebwerke waren vorhanden. An Bord befand sich ein kleiner Computer, der für etwa 16 Stunden vorausprogrammiert war: Bei jedem Umlauf mußte ja der Orbiter den Funkkontakt mit der Erde für einige Zeit verlieren.

Das Unkonventionellste am Lunar Orbiter aber war das photographische System. Während alle anderen Sonden bisher die Bilder wie eine Fernsehkamera digitalisierten und die einzelnen Signale zur Erde übermittelten, wurde hier auf echtes Filmmaterial aufgenommen, das dann im Orbiter entwickelt und danach elektronisch abgetastet wurde. Dadurch konnte eine bis dahin unerreichte Bildqualität erreicht werden. Um zu verhindern, daß der Film schon durch die kosmische Strahlung belichtet wurde, mußte sehr niederempfindlicher Film (Kodak SO-243) mit langen Belichtungszeiten verwendet werden. Um Bewegungsunschärfe zu vermeiden, mußte der Film während der Belichtung von einem sensorgesteuerten Motor bewegt werden. Die Brennweite der beiden Kameras betrug 80mm und 610mm, die Aufnahmen beider Kameras wurden auf denselben Filmstreifen gemacht. Die Entwicklung erfolgte bei $29,5^\circ\text{C}$ durch Kontakt mit einem speziellen Entwicklerfilm (Kodak SO-111) im Lauf von 3,4 Minuten. Danach wurde der Film 11,5 Minuten bei 35°C

Fortsetzung Referat: Das Lunar Orbiter Programm.

getrocknet und war dann fertig zum Abtesten mit einem 112 Mikron großen Lichtpunkt. Als Empfänger diente ein Photomultiplier.



d. Ergebnisse des Lunar Orbiter Programms

Alle genannten Ziele konnten erreicht werden und darüber hinaus aus Bahnanalysen Massenanomalien, die "Mascons", unter Maren gefunden werden.

e. Zusammenfassung in Zahlen

| Lunar Orbiter | I | II | III | IV | V |
|-------------------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| Umlaufszeit | 3h26m21s | 3h28m34s | 3h28m | 12h01m | 8h22m40s |
| Bahnneigung | 12° | 12° | 21° | 85° | 85° |
| Max./Min.Höhe, km | 1850/50 | 1850/55 | 1850/55 | 6110/2700 | 6092/100 |
| Beginn Umlauf | 66 08 14 | 66 11 10 | 67 02 08 | 67 05 08 | 67 08 05 |
| Zahl der Umläufe | 547 | 2289 | 1843 | 225 | 1201 |
| Aufschlagsdatum | 66 10 29 | 67 10 11 | 67 10 09 | 67 07 17 | 68 01 31 |
| Tage im Umlauf | 76 | 335 | 243 | 70 | 179 |
| Anzahl der Photos | 422 | 417 | 327 | 359 | 425 |

f. Literatur

D.Bowker - J.Hughes, Lunar Orbiter Photographic Atlas of the Moon.

NASA SP-206, Washington 1971

Z.Kopal et al., Boeing Sc.Res.Lab., Math.Note 485, 1966

Beeler et al., Lunar Orbiter Photographical Data, DUN NSSDC 69-05, Goddard Center.

Christian Köberl,

Gumpoldskirchnerstr.14/5, A-2340 Mödling

Ausstellung: Der "Consolidated Lunar Atlas".

Die Erfahrungen einer langen Entwicklungsgeschichte professioneller, erdperspektivischer Mondatlanten kamen dem "Consolidated Lunar Atlas" zugute, der hinsichtlich Konzept, Beobachtungstechnik und Reproduktion einen Höhepunkt erreichte.

Er erschien 1967 als Supplement No.3 und 4 des USAF Photographic Lunar Atlas von Kuiper, Whitaker, Strom, Fountain und Larson und wurde vom Lunar and Planetary Laboratory, University of Arizona, als Contributions No.4 herausgegeben. Er enthält 226 photographisch reproduzierte Aufnahmen 28x36cm sowie einen Erläuterungsband mit Tabellen und Referenzkarten zu den Lunar Orbiter Missions und ist in zwei Teile gegliedert: Teil I umfaßt die Aufnahmen bei niedriger Beleuchtung, Teil II enthält die Vollmondaufnahmen.

Es wird eine charakterisierende Auswahl von Blättern, reproduziert im Format 18x24cm, ausgestellt.

1. Geschichte

1960 wurde eine Auswahl der damals besten Mondaufnahmen zum "Photographic Lunar Atlas" (Kuiper, Arthur, Moore, Tapscott, Whitaker) zusammengefaßt und von der University of Chicago Press herausgegeben. Die Reproduktion dieses "Kuiper-Atlas" geschah in Halbtönen-Druck, wodurch weniger die Auflösung, vor allem aber das photometrische Detail litt. Spätere Aufnahmen vom US Naval Observatory, vom Lick-Observatory und vom Observatorium Pic du Midi erzielten eine doppelt so hohe Auflösung. Dies gab, zusammen mit sehr wichtigen Überlegungen hinsichtlich des Lunar Orbiter Programms, Anlaß für das neue Werk.

2. Konzept

Es stellte sich heraus, daß trotz der hervorragenden Ergebnisse des Lunar Orbiter Programms, siehe diesbezügliches Referat, Aufnahmen von der Erde nicht nur wertvoll, sondern absolut nötig sind:

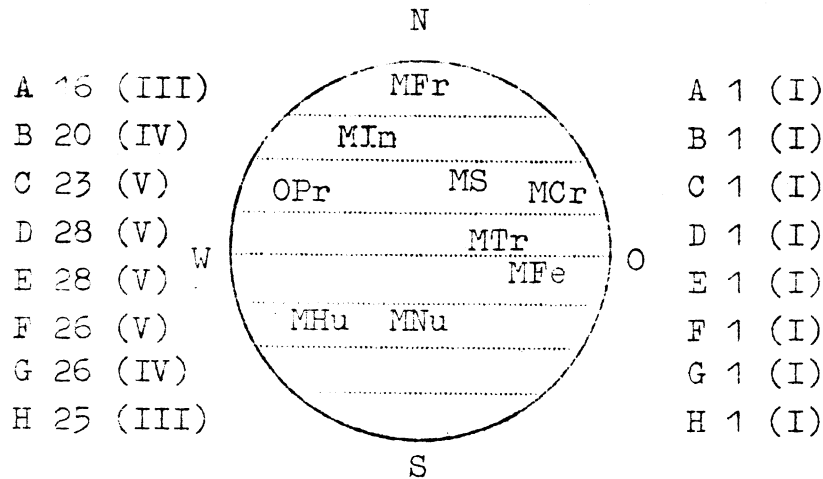
- a) Aufnahmen bei niedriger Beleuchtung, die Dome, Lavaströme und andere sehr flache und mitunter ausgedehnte Strukturen sichtbar werden läßt.
- b) Vollmondaufnahmen, die photometrische Daten erbringen, die selbst von hochauflösenden Aufnahmen bei 20° oder 30° Sonnenhöhe keinesfalls erhalten werden können.

Es überrascht daher nicht, daß viele im "Consolidated Lunar Atlas" enthaltene Einzelheiten auf den Lunar Orbiter Aufnahmen fehlen. Die Notwendigkeit, Oberflächenstrukturen des Mondes unter zahlreichen, besonders aber unter niedrigen Beleuchtungsverhältnissen aufzunehmen,

Fortsetzung: Ausstellung "Consolidated Lunar Atlas".

verlangte möglichst nehes Herangehen an den Terminator. Das machte lange Belichtungszeiten nötig und zwang zu bestem Reproduktionsverfahren.

Die sichtbare Mondscheibe wurde in "Kuiper-Atlas" in 44 rechteckige Felder zerlegt. Beim "Consolidated Lunar Atlas" sind es wie beim "Kuiper-Atlas" acht Ost-West verlaufende Streifen A-H, aber sehr viel mehr Unterabteilungen in selenographischer Länge. Die 192 Aufnahmen des Teils I folgen deshalb dem Terminator praktisch kontinuierlich:



Die Vollmondaufnahmen des Teils II folgen dem gleichen System, weil aber bei Steilbeleuchtung kleine Änderungen in Sonnenhöhe sich nicht merklich auswirken, kommt man mit nur 34 Aufnahmen aus. Sie sind zur Unterscheidung mit römischen Ziffern bezeichnet: A I-III, B I-IV, C I-V, D I-V, E I-V, F I-V, G I-IV und H I-III.

3. Beobachtungstechnik

Die Aufnahmen des Teil I wurden mit dem 61 Zoll (155cm) NASA Teleskop des Catalina-Observatoriums bis Anfang 1967 gemacht; aus etwa 8000 Aufnahmen wurden die besten ausgewählt. Benützt wurde dieses Teleskop mit F/13,5, F = 20,9m (10"/mm) oder, bei guten Luftverhältnissen besser, mit F/45, F = 69,8m (3"/mm). Die Aufnahmen des Teils II wurden hauptsächlich mit dem vorzüglichen 61 Zoll Astrometric Telescope des US Naval Observatory gemacht und nur einige seitens des 40 Zoll Yerkes- und 36 Zoll Lickrefraktors ergänzt.

4. Reproduktion

Man entschied sich für photographische Reproduktion, um Auflösung und photometrische Daten in gleicher Weise zu bewahren. Die Kopien sind von hervorragender Güte und tragen neben Termin- und Instrument-angabe die für den Aufnahmetag gültige geozentrische Libration und die für die Uhrzeit gültige Colongitude der Sonne, siehe Referate "Rotation und Libration des Mondes" und "Lichtgestalten des Mondes". Das kostspielige Werk ist vergriffen; es ist auch Grundlage des "Taschenatlas Mond-Mars-Venus" von A.Rükl.

Referat: Die "Maps of Lunar Hemispheres" von Antonín Růžek

Von der Erde aus sind nur etwa 59% der Mondoberfläche sichtbar; die Gesamtdarstellung der Mondoberfläche konnte daher erst erfolgen, als nach Abschluß des Lunar Orbiter Programms die Rückseite ebenso genau bekannt wurde wie die Vorderseite.

A. Růžek hat in seine Karte der Mondhemisphären auch die Ergebnisse von Lunar Orbiter V sowie die Beschlüsse der XIV. Generalversammlung der IAU einbeziehen können; die sechs Karten stellen die Ansicht des Mondes aus den sechs Hauptraumrichtungen dar. Das Werk enthält außer den Karten auch eine 24seitige Einführung und Erläuterung und wurde 1971 abgeschlossen. Die erste Ausgabe erschien 1971, Cartographic Publishing House, Prag; eine weitere 1972, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.

Kartenprojektion und Koordinaten

Růžek war der erste Selenograph, der die Lambert'sche Azimutalprojektion verwendete, die flächentreu ist und daher sehr wirklichkeitstreue Abbildungen liefert.

Die Mitten der Karten 1-4 liegen auf dem Mondäquator und haben die selenographischen Längen 0° , 90°E , 180° und 90°W (astronautische Zählung). Karte 5 hat als Mitte den Nord-, Karte 6 als Mitte den Südpol. Auch die beiden Polkarten stellen Hemisphären dar und so ergibt sich eine Überlappung von 90° von Kartenblatt zur Kartenblatt, was die Übersichtlichkeit sehr fördert.

Die Koordinatenlinien sind von 10° zu 10° eingezeichnet; zur Erleichterung der Auffindung von Formationen nach dem Index sind die einzelnen 10×10 Grad - Felder nach Breite von A-T und nach Länge von 1-36 bezeichnet; das Mare Nectaris z.B. füllt den Bereich L13.

Kartenblätter

Der untere Teil des Kartenblattes 1 ist, auf 0,7 der natürlichen Größe verkleinert, diesem Referat als Musterseite beigegeben. Der Maßstab der Karten ist 1 : 10 000 000, es entspricht also 1cm in der Kartenmitte 100 km auf der Mondoberfläche.

Die Zählweise der selenographischen Koordinaten ist jeweils in dem kleinen quadratischen Feld links unten verdeutlicht; weiters bietet die Karte ein Nomogramm, mit dessen Hilfe sich die Verzerrung durch die Kartenprojektion ermitteln läßt - man überträgt mit dem Stechzirkel den Mittenabstand r z.B. eines Kraters und kann dann dessen Durchmesser d in Kilometern oder statute miles ablesen. Rechts unten, in der Beilage abgeschnitten, findet sich die Legende. Mare sind grau getönt, Krater mit eingetragenen Namen durch stärkeres Braun

hervorgehoben; Hügel sind durch Winkel und Rillen als strichpunktierte Linien dargestellt. Im rechten oberen Eck jeder Karte ist ersichtlich gemacht, welches die angrenzenden Kartenblätter sind.

Die Landstellen von Raumflugkörpern sind bis einschließlich Apollo 14 (1971 02 05) eingetragen, wobei zwischen harter und weicher Landung unterschieden wird. Benützer, welche die Landstellen bis einschließlich Luna 24 (1976 08 18) nachtragen wollen, finden hier die Koordinaten:

| | | | |
|-------------|----------------|-----------|-----------------|
| Apollo 15 | 3,7°E / 26,1°N | Apollo 17 | 30,8°E / 20,2°N |
| Luna 18, 20 | 56,5°E / 3,5°N | Luna 21 | 30,5°E / 25,9°N |
| Apollo 16 | 15,6°E / 9,0°S | Luna 24 | 62,3°E / 13,1°N |

Nomenklatur

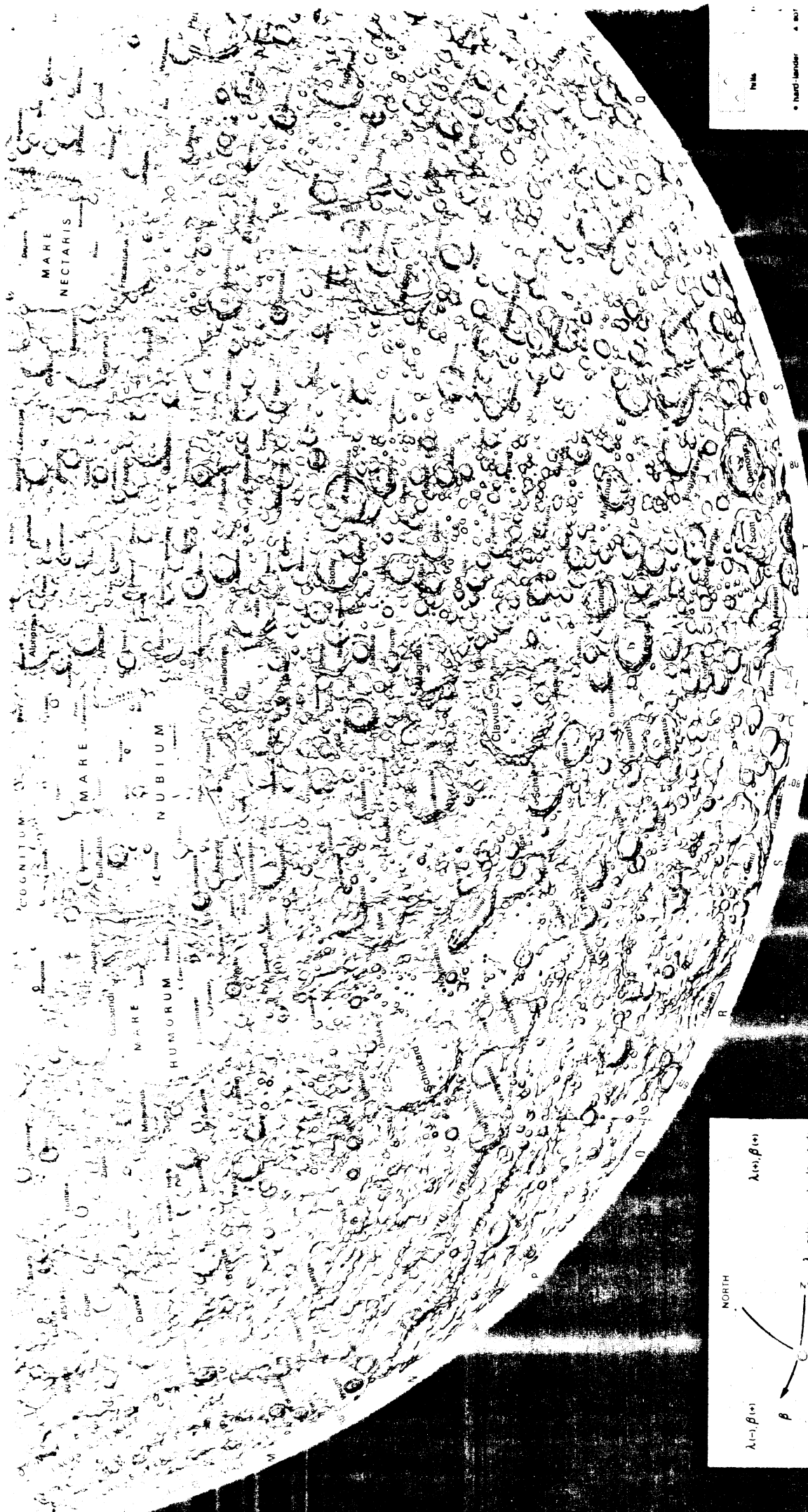
Die Mondnomenklatur, die in ihren Grundlagen auf Riccioli (1651) zurückgeht, ist im Gastvortrag von A.Rükl "Selenodesy and Selenography" erläutert. Die "Maps of Lunar Hemispheres" enthalten die Nomenklatur einschließlich der Beschlüsse der XIV.Generalversammlung der IAU in Brighton. Sie stimmt somit im wesentlichen mit der Nomenklatur, wie sie im "Taschenatlas Mond-Mars-Venus" von A.Rükl enthalten ist, überein (siehe "Sternenbote" Heft 8/1977, p.134 ff.).

Äußere Form des Werkes

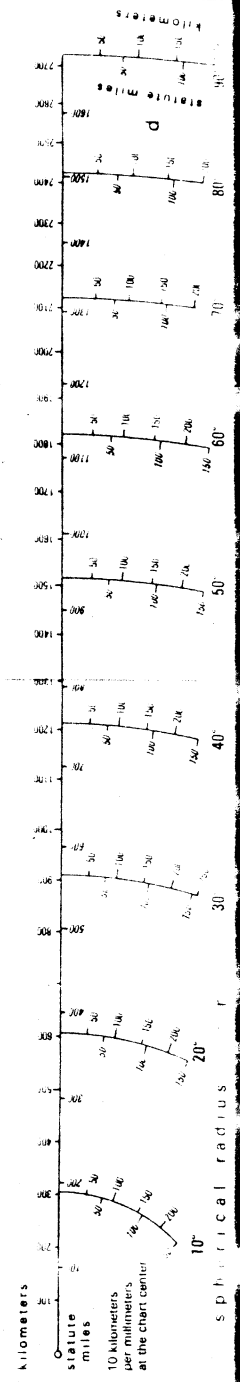
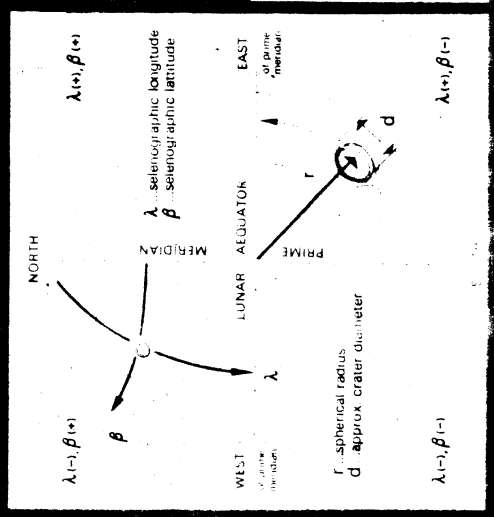
Die Karten zeigen den Mond im Durchmesser von 490mm und haben ein Außenformat von 617mm Höhe x 536mm Breite. Sie sind auf starkem Papier gedruckt und werden, zusammen mit dem Erläuterungsheft, in einer haltbaren Leinenmappe 25cm x 17cm aufbewahrt.

Literatur, auf der die "Maps of Lunar Hemispheres" beruhen:

- Z.Kopal, The Moon (2nd.Ed.), D.Reidel Publ. Comp., Dordrecht, Holland, 1969.
- G.Kuiper et al., Photographic Lunar Atlas, Univ.of Chicago Press, 1960.
- E.Whitaker et al., Rectified Lunar Atlas, Univ.of Arizona Press, 1964.
- D.Arthur, Orthographic Atlas of the Moon, Univ.of Arizona Press, 1962.
- Y.Lipsky et al., Polnaya Karta Lunny, Sternberg State Astron.Institute, Moskau, UdSSR, 1967.
- R.Carder et.al., Lunar Farside Chart (2nd.Ed.), Aeronautical Chart and Information Center, US Air Force, St.Louis, USA, 1967.
- D.Menzel et al., Report on Lunar Nomenclature, Space Sc.Rev., 12, 136, No.2, D.Reidel Publ.Comp., Dordrecht, Holland 1971.



SCALE 1:10000000
 Lambert azimuthal equal area projection ■ Orientation of cardinal directions in accordance with the I. A. U. General Assembly 1961

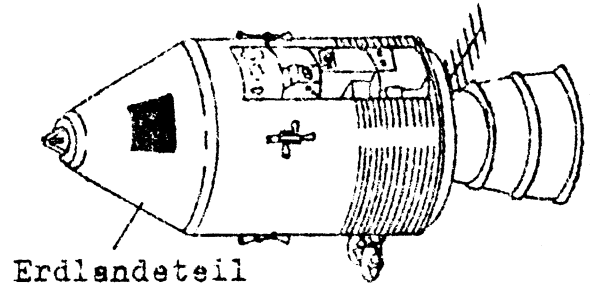
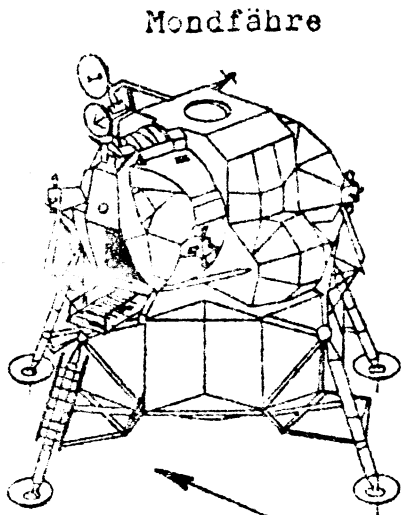


The configuration of the Moon from the Lunar Orbiter I and II Lunar Atlas (The University of Arizona)

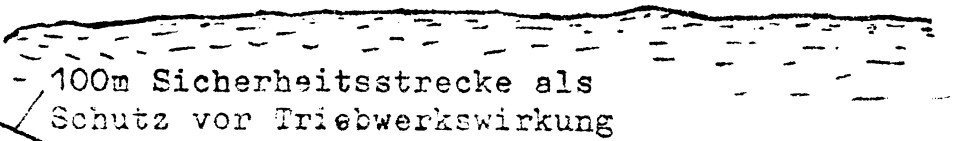
The position of the features on the Lunar Atlas. The coordinate system is selenographic.

Feature Names are adopted from the International Astronomical Union (IAU) 1963 and 1970.

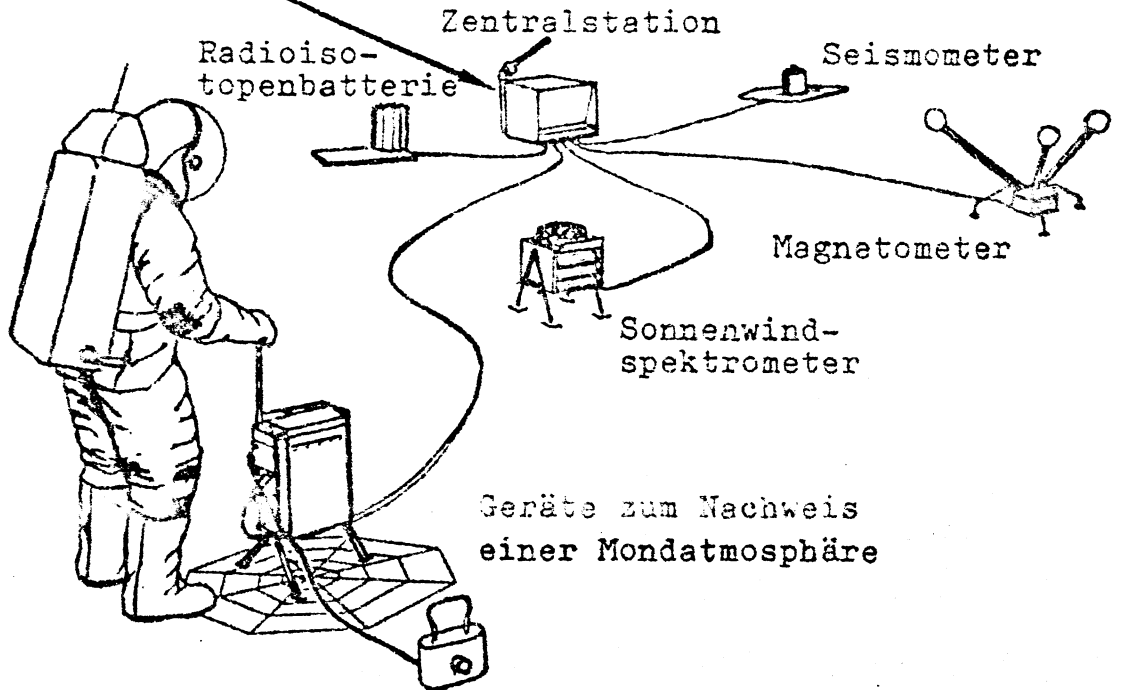
Schemata: Apollo (Kommandokapsel, Mondfähre, ALSEP-Station, Lunar Rover).



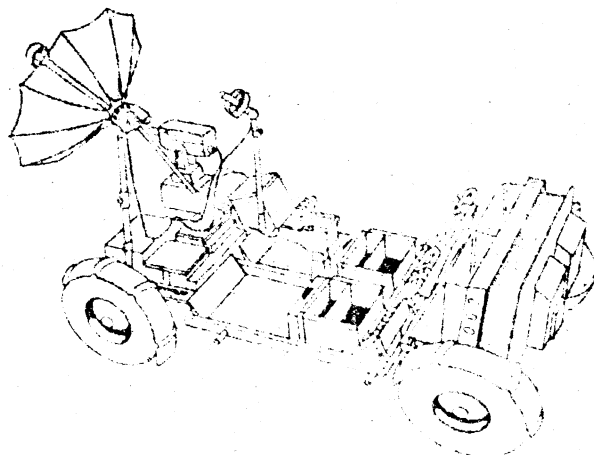
Kommandokapsel, 90-123 km über dem Mondboden



ALSEP-Station



Lunar Rover



Nicht maßstäblich!

STERNFACHENDE-SEMINAR, WIENER PLANETARIUM, 1981 / Mücke

Übersicht: Weiche Landungen auf dem Mond (Nur gelungene Unternehmungen).

| <u>Mission</u> | <u>Gelandet</u> | <u>Landeregend</u> | <u>Landeort</u> | <u>Aktivitäten</u> |
|----------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|--|
| LUNA 9 | 1966 02 03 | Oceanus Procellarum, bei Cavalerius | 64,4°W/07,1°N | 1. weiche Landung, 4 Panoramaphotos, 1. Untersuchung der Bodenfestigkeit. |
| SURVEYOR 1 | 1966 06 02 | Oceanus Procellarum | 43,2°W/02,5°S | 11240 Aufnahmen mit Details bis 0,5mm. |
| LUNA 13 | 1966 12 24 | Oceanus Procellarum | 62,1°W/18,9°N | 3 Panoramaphotos, Messung Bodenfestigkeit. |
| SURVEYOR 3 | 1967 04 20 | Mare Cognitum, bei Lansberg | 23,3°W/02,9°S | 6326 Aufnahmen, 15cm tiefe Furchen mit mechanischer Schaufel. Siehe Apollo 12! |
| SURVEYOR 5 | 1967 09 11 | Mare Tranquillitatis, bei Sabine | 23,2°E/01,4°N | 19118 Aufnahmen, 1. Untersuchung der chemischen Zusammensetzung des Bodens. |
| SURVEYOR 6 | 1967 11 10 | Sinus Medii, bei Bruce | 01,4°W/00,5°N | 14500 Aufnahmen, dann kurzer Aufstiege, neue Landung 2,5m seitlich: Stereoaufnahmen. Insgesamt 29952 Photos. |
| SURVEYOR 7 | 1968 01 10 | 25 km nördl. Tycho | 11,4°W/41,0°S | 21038 Photos, 1. weiche Landung in bergigem Gelände. |
| APOLLO 11 | 1969 07 20 | Mare Tranquillitatis, bei Sabine | 23,5°E/00,7°N | 1. Landung von Menschen. Seismometer, Laser-Reflektor installiert, 1. Bodenproben zur Erde gebracht. |
| APOLLO 12 | 1969 11 18 | Mare Cognitum, bei Lansberg | 23,3°W/02,5°S | 2. Landung von Menschen, 350m neben Surveyor 3; 1. ALSEP-Station. |
| LUNA 16 | 1970 09 20 | Mare Fecunditatis | 56,3°E/00,7°S | 1. automatische Probennahme aus einer Tiefe bis 35cm. |
| LUNA 17 | 1970 11 17 | Mare Imbrium, bei Sinus Iridum | 35,0°W/38,3°N | 1. automatisches Labor, 10 Monate tätig. "Lunochod 1" fuhr 10,5km. 4 Panorama-TV-kameras, mechanisch-chemische Analysen. |
| APOLLO 14 | 1971 02 05 | Fra Mauro | 17,5°W/03,7°S | 3. Landung von Menschen, Handwagen benutzt. 2. ALSEP-Station. |
| APOLLO 15 | 1971 07 30 | Apenninen, bei Hadley | 03,7°E/26,1°N | 4. Landung von Menschen, "Lunar Rover", Bohrungen bis 1,5m Tiefe, 3. ALSEP-Station; Photogrammetrie des Mondes. |
| LUNA 20 | 1972 02 21 | Mare Fecunditatis, bei Apollonius | 56,5°E/03,5°N | Automatische Probennahme, 1. in bergigem Gelände. |

STERNFREUNDSEMINAR, WIENER PLANETARIUM, 1981 / Mucke

Fortsetzung Übersicht: Weiche Landungen auf dem Mond.

| <u>Mission</u> | <u>Gelandet</u> | <u>Landeregion</u> | <u>Landort</u> | <u>Aktivitäten</u> |
|----------------|-----------------|----------------------------------|----------------|---|
| APOLLO 16 | 1972 04 21 | Descartes | 15,6°E/09,0°S | 5. Landung von Menschen. Weitere geologische Untersuchungen, UV-Kamera für Astrophysik. 4. ALSEP-Station. |
| APOLLO 17 | 1972 12 11 | Taurus-Littrow | 30,8°E/20,2°N | 6. Landung von Menschen, 1. Wissenschaftler auf dem Mond: Geologe. Junges Gebiet erforscht. 5. ALSEP-Station. |
| LUNA 21 | 1973 01 15 | Mare Serenitatis, bei Le Monnier | 30,5°E/25,9°N | 2. automatisches Labor, 5 Monate tätig. "Lunochod 2" fuhr 37 km. Gegenüber "Lunochod 1" noch Magnetometer, Astro-Photometer, 1 weitere TV-Kamera. Solare Röntgenstrahlung gemessen. |
| LUNA 24 | 1976 08 18 | Mare Crisium | 62,3°E/13,1°N | Automatische Probenahme aus 2 m Tiefe. |

Übersicht: Die Instrumente der ALSEP-Stationen (Apollo Landing Surface Experimental Package).

| <u>Instrumente</u> | <u>Apollo 11</u> | <u>Apollo 12</u> | <u>Apollo 14</u> | <u>Apollo 15</u> | <u>Apollo 16</u> | <u>Apollo 17</u> |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Instrumentarium Bodenmechanik | x | x | x | x | x | x |
| Instrumentarium Geologie | x | x | x | x | x | x |
| Passives Seismometer | x | x | x | x | x | x |
| Aktives Seismometer; Impulse Profil-Seismometer | x | | x | | x | x |
| Laser-Winkelprismenspiegel | | | | | | |
| Magnetometer | | x | | x | x | |
| Thermoelemente unter Oberfläche | | | | x | | |
| Gravimeter | | | | | | x |
| Meßgeräte für Boden-Elektrik | | | | | | x |
| Neutronenzähler | | | | | | x |
| Suprathermal-Ionendetektor | | x | x | x | | x |
| Ionendetektor | | | | | | |
| Detektor für geladene Teilchen | | | | | | |
| Atmosphären-Analysator | | | | | | |
| Sonnenwind-Spektrometer | | | | | | |
| Detektor für kosmische Strahlung | | x | | x | | x |
| UV - Kamera und Spektrograph | | | | | x | x |
| Mondstaub-Detektor | | | x | | | |

Literatur: Siehe Seminar-Anfang; ferner NSSDC, Catalog of Lunar Mission Data, 1977, Greenbelt (NASA).

Gastvortrag: Mondgesteine

Als am 21. Juli 1969 zum ersten Mal ein Mensch den Boden des Mondes betrat, erfüllte sich damit der Wunsch vieler Wissenschaftler, nun auch von einem anderen Himmelskörper gezielt Proben nehmen zu können. Zwar war es auch schon vorher möglich, außerirdische Materie - in der Form von Meteoriten - im Laboratorium zu untersuchen, aber was die "Probennahme" anbetraf, war man dabei natürlich ganz auf die Zufälligkeit der nicht eben häufigen Meteoritenfälle angewiesen.

Mondbodenproben

Bereits nach den ersten Untersuchungen der zur Erde zurückgebrachten Mondproben stellte sich allerdings heraus, daß die Enträtselung der geologischen Verhältnisse auf dem Mond komplizierter als erwartet war. Dies lag zum einen daran, daß nur Material relativ kleiner Teilchengröße zur Verfügung stand - jedes größere Handstück, das die Astronauten aufsammelten, erwies sich als komplexe Brekzie (Trümmergestein), die ihrerseits wieder aus mikroskopisch kleinen Mineral- und Gesteinsbruchstücken aufgebaut war - zum anderen überraschten die schließlich identifizierten Gesteinstypen durch eine erstaunliche Vielfalt.

Heute stehen für die Forschung Proben von sechs Apollo-Missionen der USA und drei unbemannten Luna-Missionen der UdSSR zur Verfügung (siehe diesbezügliche Übersicht; Red.). Der Vergleich der Proben von verschiedenen Landeplätzen ließ genetische Zusammenhänge zwischen den einzelnen Gesteinstypen erkennbar werden und zeigte zugleich auch, daß jede Landestelle nicht nur den lokalen Bereich charakterisiert, sondern ein Einzugsgebiet hat, welches zum Teil Millionen Quadratkilometer umfassen kann. Dies kommt daher, daß die Mondoberfläche seit der Entstehung des Mondes einem Bombardement von extralunaren Körpern ausgesetzt war. Diese Kollisionen führten zur Bildung der Mondkrater, zu einem Transport von Oberflächenmaterial über weite Strecken der Mondoberfläche und damit zu einer umfassenden Materialumwälzung. Die so geschaffenen chaotischen Verhältnisse haben auch ihre Vorteile: Eine an einem beliebigen Ort genommene Mondbodenprobe - und sei sie auch noch so klein - enthält wesentlich mehr Information als eine entsprechende Probe von unserer Erde.

Entwicklung des Mondes

Die Entwicklung des Mondes ist im Vergleich zu jener der Erde verhältnismäßig einfach:

In der Spätphase der Akkretion, das ist die Zusammenballung der Materie zu Himmelskörpern, vor 4,5 Milliarden Jahren, erhitzten sich

Fortsetzung Gastvortrag: Mondgesteine.

zumindest die äußeren Zonen des Mondes bis zur Schmelzbildung. Mit der folgenden Abkühlung dieser Schmelze erfolgte die erste großräumige geochemische Fraktionierung des Mondes. Dabei kam es zu einer mondweiten Trennung von Eisen-Magnesium-Silikaten, welche den oberen Mondmantel bildeten (Kristalle sammeln sich im tiefsten Bereich der Schmelze an) und Kalzium-Aluminium-Silikaten, welche die frühe Mondkruste bildeten (diese Kristalle schwimmen auf der Schmelze und sammeln sich an der Oberfläche).

Der Mond hatte somit kurz nach seiner Entstehung zumindest in den äußeren wenigen hundert Kilometern einen geochemisch differenzierten, zonaren Aufbau entwickelt.

Im Zuge der Endphase der Akkretion wurde die Kruste noch an vielen Stellen durch größere Körper eingeschlagen. Dadurch bildeten sich große Vertiefungen an der Mondoberfläche, die nach und nach durch basaltische Ergüsse aufgefüllt wurden. Diese Basalte entstanden durch teilweises Aufschmelzen der bei der frühen Differentiation (das ist ein komplexer, zur Bildung verschiedener Gesteine führender chemischer Prozeß) des Mondes entstandenen Mondmantelgesteine. Die Quelle dieser Basalte lag dabei in der frühen Phase verhältnismäßig nahe der Mondoberfläche und wanderte mit zunehmender Abkühlung des Mondes in größere Tiefen. Heute liegt der Bereich partieller Aufschmelzung (Asthenosphäre) des Mondes in zirka 1000 km Tiefe und kann daher für die Mondoberfläche kaum mehr aktiv sein. Der Ausfluß von größeren Mengen Basalt endete vor rund drei Milliarden Jahren. Die Reste der alten Kruste bilden die hellen Mond-Hochländer.

Die auffallenden optischen Unterschiede der beiden Mondlandschaftsstrukturen gehen auf die Vorherrschaft unterschiedlicher Gesteine zurück: Die Maria sind mit Basalten gefüllt, deren wichtigste Mineralkomponenten Klinopyroxen $(Ca, Mg, Fe, Al)_2(Si, Al)_2O_6$ sowie Plagioklas $CaAl_2Si_2O_8$ sind, und die Hochländer bestehen aus durchwegs plagioklasreichen Gesteinen. Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen Maria und Hochländern liegt in der Kraterhäufigkeit: Die Hochländer sind sehr kraterreich, während die Maria verhältnismäßig kraterarm sind. Dieser Unterschied spiegelt deutlich die unterschiedlichen Alter dieser Landschaften wider. Eine relative Zeitskala auf der Basis von Kraterhäufigkeiten wurde schon lange vor den Mondlandungen erstellt, die absoluten Alter konnten jedoch erst nach der Eichung mittels Altersbestimmungen an Proben von verschiedenen Landstellen errechnet werden. Dabei gab es eine große Überraschung: Die Einschlaghäufigkeit war vor mehr als vier Milliarden Jahren um mehrere Zehnerpotenzen größer als vor drei Milliarden Jahren und seither.

Fortsetzung Gastvortrag: Mondgesteine.

Heute herrscht weitgehend Klarheit über die frühe Differentiation des Mondes und die damit verbundenen gesteinsbildenden Vorgänge. Die petrologische Forschung beschäftigt sich daher in letzter Zeit vorwiegend mit Detailfragen, wobei es freilich immer wieder auch Überraschungen gibt, die zu wesentlichen Revisionen unseres Gesamtkonzeptes und zu neuen Erkenntnissen führen.

Mondgesteinsuntersuchungen in Wien

In Wien wurde Mondgestein - vorwiegend von sowjetischen Luna-Missionen - am Naturhistorischen Museum und am Institut für Analytische Chemie der Universität untersucht. Während die Arbeitsgruppe der Universität sich insbesondere der Neutronenaktivierungsanalyse (hauptsächlich zur Bestimmung der Spurenelemente) bedient, werden am Naturhistorischen Museum petrologische Probleme mit Hilfe der Elektronenstrahl-Mikrosonde bearbeitet. Dies ist ein sehr aufwendiges Unterfangen. Schon für eine kleine Probe von wenigen Milligramm müssen neben der beschreibenden Mikroskoparbeit einige tausend Analysen mittels der Elektronenstrahl-Mikrosonde erstellt werden. Da bei der fraktionierten Kristallisation Minerale gebildet werden, deren Zusammensetzung sich in charakteristischer Weise über einen weiten Bereich ändert, müssen an vielen Punkten desselben Mineralkorns und an vielen Mineralkörnern desselben Gesteins Vollanalysen - das analysierte Volumen ist bei der Elektronenstrahl-Mikrosonde nur wenige μm^3 groß - ausgeführt werden, um Aussagen über die Kristallisationsbedingungen zu erhalten. Für ein einziges Gesteinsbruchstück in der Größe von etwa 0,5 mm benötigt man etwa rund 500 Elementanalysen, um es ausreichend charakterisieren und seine Entwicklungsgeschichte analysieren zu können.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen aber, daß sich die wissenschaftliche Detektivarbeit lohnt: Die Untersuchung der Proben von den Landstellen der Sonden Luna 16 (Mare Fecunditatis) und Luna 24 (Mare Crisium) - Luna 20 landete im dazwischenliegenden Hochland - brachte neue Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Basalten, Mineralfragmenten, Gläsern und Brekzien an derselben Landestelle. In beiden Fällen bestehen nämlich merkliche Unterschiede in der Zusammensetzung zwischen diesen Komponenten, die es ausschließen, daß Brekzien einfach durch Zertrümmerung des lokalen Basalts - infolge von Meteoriteneinschlägen - entstanden sind. Insbesondere das Fe/mg-Verhältnis ist in den Brekzien durchwegs niedriger als in den Basalten. Das Fe/Mg-Verhältnis ändert sich bei der Bildung von Basalten, die durch partielles Aufschmelzen - in diesem Fall der Pyroxen-Plagioklas-Mondmantelgesteine -

Fortsetzung Gastvortrag: Mondgesteine.

entstehen, je nach dem Ausmaß des partiellen Schmelzprozesses. Wenn nur wenige Prozent des Ausgangsmaterials aufgeschmolzen werden, ist das Fe/Mg-Verhältnis in der Schmelze wesentlich höher als im Ausgangsgestein und mit zunehmendem Aufschmelzungsgrad nimmt das Fe/Mg-Verhältnis ab. Im Fall der Luna 16- und Luna 24-Gesteine liegt daher der Schluß nahe, daß die Brekzien aus einem älteren Basalt gebildet wurden, bei dessen Entstehung der Mond noch heiß war, und der daher einen hohen partiellen Aufschmelzungsgrad des Mondmantels repräsentiert. Erst später bildete sich jener Lavafluß, aus dem auch intakte Basaltfragmente erhalten geblieben sind, und der infolge der inzwischen erfolgten Abkühlung des Mondes einem geringeren Aufschmelzungsgrad entspricht.

Diese Hypothese hat sich inzwischen zumindest für die Luna 16 - Landestelle bewahrheitet; Hinweise auf alte Basaltdecken finden sich nicht nur in der Zusammensetzung der Brekzien und Gläser, sondern auch in photogeologischen Untersuchungen der Mare Fecunditatis-Region. An der Luna 24-Landestelle scheinen die Verhältnisse allerdings noch komplizierter zu sein. Mit weiteren interessanten Ergebnissen ist jedenfalls zu rechnen.

Ausblick

Die Zahl der Himmelskörper in der Größe zwischen Mond und Erde, von denen wir heute geologische Aussagen machen können, wächst mit jeder interplanetaren Sondenunternehmung. Angesichts der Ergebnisse von Voyager 1 und 2 könnten wir uns in Erinnerung rufen, wie wichtig die Untersuchung unseres nächsten Nachbarn für die Entwicklung jener Methoden war, mit denen wir jetzt hunderte Millionen Kilometer entfernte Himmelskörper erforschen. Der Mond ist ja bisher der einzige außerirdische Himmelskörper, von dem wir gezielt Proben nehmen und in unseren Laboratorien untersuchen konnten. Der Vergleich dieser Daten mit den durch "remote sensing", mit Datenfernerfassung von Satelliten aus erhaltenen Angaben hat es erst ermöglicht, mit den letzteren Methoden eine so hohe Aussagekraft zu erreichen, wie sie z.B. durch die Voyager-Flüge demonstriert wurde.

Die Untersuchung der Mondgesteine hat uns also nicht nur ganz neue Erkenntnisse über den Mond selbst gebracht, sondern auch in vielfacher Weise unser Wissen über andere Körper des Sonnensystems und nicht zuletzt über unsere Erde bedeutend erweitert.

(Diese Gastvortrags-Unterlage ist im "Sternenboten", Heft 7/1980, von Univ.-Dozent Dr.Gero Kurat und Dr.Alfred Kracher erschienen; Red.)

Univ.-Dozent Dr.Gero Kurat, Leiter der Mineralogisch-Petrographischen Abteilung des Naturhistorischen Museums, Burgring 7, A-1010 Wien.

Gastvortrag: Magnetfelder und Atmosphäre des Erdmondes

1. Magnetfelder des Mondes

1a. Globales Magnetfeld

Im Gegensatz zur Erde besitzt der Erdmond praktisch kein globales, endogenes Magnetfeld, d.h. kein annähernd dipolartiges Feld, das durch elektrische Ströme im Mondinneren verursacht wird. Die Ursachen dafür sind die geringe Masse des Mondes, die hohe Viskosität in der Kernzone des Mondes und die langsame Rotation (Lit.1). Daß der Mond nur ein schwaches Magnetfeld haben kann, wurde bereits 1959 mit Luna 2 gezeigt. Umfangreiche Messungen wurden dann 1967 mit dem Mond-Orbiter Explorer 35 durchgeführt (Lit.2). Danach wußte man, daß die Flußdichte des lunaren Dipolfeldes an der Mondoberfläche höchstens einige 10^{-5} Gauß (einige γ , $1\gamma = 10^{-5}$ Gauß) erreicht und damit mit dem interplanetaren Magnetfeld in Mondnähe vergleichbar ist. Das magnetische Moment des Mondes ist mindestens 10^6 mal kleiner als das der Erde. Die Feldstärke des globalen Feldes ist, im Gegensatz zur Erde oder zum Merkur, überall viel zu klein, um den Sonnenwind wesentlich zu beeinflussen. Die Teilchen des Sonnenwindes erreichen die Mondoberfläche und verursachen dort eine Entfärbung des Bodens, sowie eine über geologisch lange Zeiten möglicherweise merkliche Erosion der Oberfläche.

1b. Lokale Magnetfelder

Im Rahmen des Apollo-Programms wurden, besonders mit Hilfe der Subsatelliten von Apollo 15, 16 und 17, kleine Gebiete mit wesentlich höheren magnetischen Feldstärken entdeckt. Die Untersuchungen an der Mondoberfläche zeigten, daß Brekzien die Träger dieser lokalen Felder sind. Im Landegebiet von Apollo 16, dem Hochland von Descartes, wurden z.B. Flußdichten bis zu $360 \cdot 10^{-5}$ G gemessen. Am Landeort von Apollo 15 war dagegen die Feldstärke über dem Mare-Basalt nur $4 \cdot 10^{-5}$ G. Wahrscheinlich wurden die Brekzien durch Meteoriteneinschläge magnetisiert, über den Mechanismus ist aber noch kaum etwas bekannt. Kristalline Gesteine des Mondes sind relativ stark magnetisiert; bei deren Bildung müssen Flußdichten der Felder von 10^{-2} bis 10^{-3} G bestanden haben. Ob damals der Mond ein relativ starkes globales Magnetfeld besaß, ob ein kleiner Abstand zur Erde oder ein sehr starker Sonnenwind die Ursache für die Magnetisierung war, ist heute noch eine ungelöste Frage.

1c. Magnetische und optische Struktur von Reiner γ

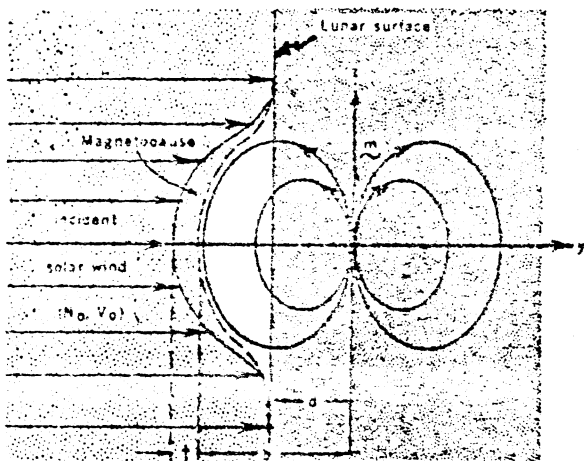
Eines der Gebiete mit relativ hoher magnetischer Feldstärke fällt mit der Albedo-Formation Reiner γ im Oceanus Procellarum zusammen. Hood

Fortsetzung Gastvortrag: Magnetfelder und Atmosphäre des Erdmondes.

und Schubert (Lit.3) konnten kürzlich für dieses Gebiet den Zusammenhang zwischen Albedo und Magnetfeld erklären. Da Reiner γ mit Amateurmitteln gut beobachtet werden kann, soll über dieses Gebiet kurz berichtet werden.

Die Formation liegt bei $59^{\circ}\text{W} / 7,5^{\circ}\text{N}$, in der Nähe des Kraters Reiner. Die Ausnehmung der Kernzone beläuft sich auf etwa 50 km. Innerhalb einer grob ringförmigen Zone liegen verwirbelte, unscharfe, helle Streifen.

Welcher Zusammenhang besteht nun zwischen dieser eigenartigen Formation und dem lokalen Magnetfeld? Um dies zu erklären, betrachten wir die Wechselwirkung des Sonnenwindes mit einem lokalen Feld an der Mondoberfläche.



Als Quelle des Magnetfeldes sei ein Dipol angenommen, der sich in der Tiefe d unter der Mondoberfläche befindet. Der Sonnenwind bewegt sich senkrecht zur Oberfläche, die typische Ionendichte sei N_0 , die typische Geschwindigkeit V_0 . Die Art der Wechselwirkung dieser Teilchenströmung mit dem Dipolfeld hängt

- von der Ausdehnung des Dipols und
- von der Feldintensität ab.

Ist das Feld zu schwach, z.B. $H < 80 \gamma$ an der Oberfläche, und/oder von zu

kleiner Ausdehnung, so werden die einströmenden Ionen nur leicht abgelenkt und gebremst und prallen auf die Mondoberfläche auf. Eine derartige Wechselwirkung wurde an einigen Apollo-Landeorten beobachtet und ist mit keinen besonderen Erscheinungen an der Oberfläche verbunden.

Um den Sonnenwind im Zentralgebiet der magnetischen Anomalie von der Oberfläche abzuhalten, muß die Länge L , über die das Feld annähernd homogen ist, viel größer als die Größe t sein. Berechnung zeigen, daß diese Bedingung dann erfüllt ist, wenn das Dipolmoment m in Gcm^3

$$m \gg 1 \cdot 10^7 (V_0/N_0)$$

ist. Für die Werte $V_0 = 400 \text{ km/s}$ und $N_0 = 10 \text{ cm}^{-3}$ erhält man $m > 10^{13} \text{ Gcm}^3$. Bei maximalem Sonnenwind muß $m > 6 \cdot 10^{14} \text{ Gcm}^3$ sein. Befindet sich der Dipol in der Tiefe d , so muß zudem $b > d$ sein.

Nun zu den Messungen bei Reiner γ :

Mit dem Apollo 16 - Subsatelliten wurde bei Reiner γ in 20 km Höhe eine Feldstärke von maximal 20γ gemessen. Der theoretische Dipol, der die gemessene Feldverteilung am besten wiedergibt, hat ein Moment von $1,9 \cdot 10^{16} \text{ Gcm}^3$, eine Quellentiefe von 32 km und eine Neigung gegen die Mondoberfläche von 30° . Für b , den Abstand des Dipolzentrums vom Stagnationspunkt, ergibt sich bei normalem Sonnenwind der Wert $b \approx 44 \text{ km}$. Der Stagnationspunkt liegt dabei 12 km über der Mondoberfläche. Bei sehr starkem Sonnenwind sinkt diese Höhe auf etwa 4,5 km. Die ständig vom Sonnenwind abgeschirmte Fläche beträgt ca. 1500 km^2 , bei normalen Bedingungen sind ca. 3000 km^2 abgeschirmt. Die Feldquelle bei Reiner γ wird natürlich beträchtlich von einem Dipol abweichen, da es sich wohl um magnetisierte Gesteinsformationen handelt. Die bei Reiner γ tatsächlich auftretende Albedostruktur kann zwanglos als Abbildung einer Anordnung von verschiedenen großen und verschiedenen starken Feldquellen in diesem Gebiet angesehen werden. Reiner γ und weniger erforschte Gebiete im Mare Marginis und im Doppelkrater Van de Graaff erhärten die Annahme, daß der Sonnenwind die optischen Eigenschaften der Mondoberfläche wesentlich beeinflusst.

2. Die Atmosphäre des Mondes

Die Teilnehmer dieses Seminars werden es wohl etwas etwas erstaunlich finden, wenn hier über die Atmosphäre des Mondes berichtet wird. Über die Gashülle des Mondes wird in vielen Büchern nur geschrieben, daß es eine solche nicht gibt. In der Tat ist die Dichte der lunaren Atmosphäre sehr gering, meteorologische Erscheinungen treten nicht auf. Es gibt also keine Niederschläge, keine Wolken und keinen Wind. Alle Moleküle der Gashülle beschreiben ballistische Bahnen, Stöße zwischen neutralen Teilchen kommen praktisch nicht vor. Ein schichtartiger Aufbau der Gashülle ist nicht vorhanden, es gibt keine Troposphäre und keine Stratosphäre. Die Exosphäre des Mondes, d.h. das Gebiet, aus dem Teilchen direkt in den Weltraum entweichen können, beginnt bereits an der Mondoberfläche.

Schon seit vielen Jahren ist bekannt, daß der Mond keine dichte Atmosphäre hat, da bereits bei einer Dichte von etwa 10^{-7} gcm^{-3} bzw. bei etwa einem Zehntausendstel der Dichte der Erdatmosphäre die Dämmerungszone von der Erde aus sichtbar wäre. Anhand von Polarisationsmessungen konnte Lyot im Jahre 1949 zeigen, daß die relative Dichte $< 10^{-8}$ sein muß. Etwa um dieselbe Zeit wurde klar, daß bei einer Dichte von $\geq 10^{-12} \text{ gcm}^{-3}$ gelegentlich dem Polarlicht ähnliche Erscheinungen auf dem Mond auftreten müßten. Noch wesentlich tiefere Maximalwerte für den Druck ergaben die Bahnanalysen der Lunar Orbiter Sonden. Erst die Messungen im Rahmen der Apollo-Expeditionen und be-

Fortsetzung Gastvortrag: Magnetfelder und Atmosphäre des Erdmondes.

sonders die Meßergebnisse der ALSEP-Stationen ermöglichten dann eine Beschreibung des tatsächlichen Aufbaues der Mondatmosphäre.

Daß der Mond keine Atmosphäre besitzt, die von der Erde aus auf irgend eine Art beobachtbar ist, hat mehrere Gründe. Der erste Grund ist die kleine Masse des Mondes und damit die niedrige Fluchtgeschwindigkeit. Eine Faustregel besagt, daß sich eine signifikante Gashülle um ein planetares Objekt nur dann über Milliarden Jahre halten kann, wenn die mittlere thermische Geschwindigkeit der Moleküle kleiner als etwa $1/5$ der Fluchtgeschwindigkeit ist.

Ein Gas der Temperatur T hat eine Häufigkeitsverteilung der Teilchengeschwindigkeiten der Form:

$$N(v) = 4\pi N_0 v^2 \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \cdot \exp\left(-\frac{mv^2}{kT}\right)$$

N_0 ist die Gesamtzahl der Moleküle der Masse m , k die Boltzmannkonstante und T die absolute Temperatur sowie v die Geschwindigkeit eines Teilchens.

Der quadratische Mittelwert der Molekülgeschwindigkeit ist T proportional und m invers proportional:

$$\bar{v}^2 = 3 k T / m$$

Es können nur die Moleküle aus der Mondatmosphäre in den Weltraum entweichen, deren Geschwindigkeit $v > v_e$ ist. Da nun gilt:

$$v_e = \left(2 G M_L / R_L \right)^{1/2}$$

hängt die Entweichwahrscheinlichkeit von der Temperatur T , der Teilchenmasse m , der Mondmasse M_L und dem Mondradius R_L ab.

Die bei $N(v)$ im Exponenten auftretende T -Abhängigkeit macht verständlich, daß der kalte Planet Pluto bei nur etwa $1/5$ Erdmondmasse eine relativ dichte Atmosphäre hat.

Die charakteristische Zeit t , während der die Teilchenzahl einer Gashülle durch gaskinetische Prozesse auf 37% des ursprünglichen Wertes absinkt, ergibt sich zu:

$$t = \frac{\left(18 \pi \cdot \frac{kT}{m} \right)^{1/2}}{3 g} \cdot \frac{e^y}{y} ; \quad y = \frac{m v_e^2}{2 k T}$$

Mit dieser Formel und den Werten $g = 1,67 \text{ ms}^{-2}$ und $v_e = 2380 \text{ ms}^{-1}$

Fortsetzung Gastvortrag: Magnetfelder und Atmosphäre des Erdmondes.

erhält man die in der folgenden Tabelle angegebenen "Verweilzeiten" der wichtigsten, möglicherweise in der Mondatmosphäre vorkommenden Moleküle bzw. Atome. $T = 400$ K ist die Mittagstemperatur, $T = 120$ K die Nachttemperatur der Mondoberfläche.

| Atom/Molekül | 400 K | 250 K | 120 K |
|------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| H ₂ | 2,0 h | 2,4 h | 16 h |
| He | 3,4 h | 13 h | 0,2 a |
| H ₂ O | 1,4 a | $2,6 \cdot 10^3$ a | $2 \cdot 10^{13}$ a |
| Ne | 36 a | $5,7 \cdot 10^5$ a | $2 \cdot 10^{18}$ a |
| N ₂ | $1,8 \cdot 10^4$ a | $1,6 \cdot 10^{10}$ a | $6 \cdot 10^{27}$ a |
| Ar | $3 \cdot 10^8$ a | $1 \cdot 10^{17}$ a | $2 \cdot 10^{42}$ a |
| CO ₂ | $8 \cdot 10^9$ a | $3 \cdot 10^{19}$ a | $2 \cdot 10^{47}$ a |
| Kr | $2 \cdot 10^{24}$ a | $5 \cdot 10^{42}$ a | $> 10^{100}$ a |
| Xe | $5 \cdot 10^{41}$ a | $5 \cdot 10^{70}$ a | $> 10^{100}$ a |

Aus dieser Tabelle ersieht man, daß die leichtesten Teilchen, Wasserstoff und Helium, praktisch sofort entweichen. Auch Wassermoleküle halten sich nicht lange, diese können sich aber teilweise in den zirkumpolaren Schattenzonen des Mondes ablagern.

Neon entweicht relativ rasch, Argon kann sich aber längere Zeit halten; Krypton und Xenon können aber durch normale Stoßprozesse überhaupt nicht aus dem Schwerefeld des Mondes entweichen.

Argon entsteht auch auf dem Mond laufend durch Zerfall von K^{40} , etwa 10^{15} kg könnten im Lauf der Zeit an die Mondoberfläche gelangt sein. Kr und Xe entstehen laufend durch spontane Spaltung von U^{238} und durch neutroneninduzierte Spaltung von U^{235} sowie durch Zerfall von I^{129} . Krypton und Xenon allein sollten eine Atmosphäre von etwa 10^{-12} gcm⁻³ Dichte bilden.

Die Häufigkeit von Argon, Krypton und Xenon in der lunaren Exosphäre ist aber viel niedriger, etwa um einen Faktor 10^5 , als man nach dem naiven Modell erwarten sollte.

Durch die solare UV-Strahlung und durch Stöße mit den Teilchen des Sonnenwindes werden die Neutralteilchen der Atmosphäre ionisiert und durch die dann starke Wechselwirkung mit dem Sonnenwind auf Fluchtgeschwindigkeit beschleunigt. Eine elektrostatische Aufladung des Mondbodens, hervorgerufen durch die UV-Strahlung, sorgt für eine zusätzliche Beschleunigung der Ionen.

Neben der geringen Masse des Mondes und der hohen Temperatur der Mondoberfläche sind also zwei weitere Mechanismen ganz wesentlich

Fortsetzung Gastvortrag: Magnetfelder und Atmosphäre des Erdmondes.

für die geringe Dichte der Mondatmosphäre verantwortlich, nämlich die Ionisation von Teilchen der Gashülle und die Wechselwirkung mit dem Sonnenwind. Für die schweren Gase sind dies die dominierenden Effekte. Andererseits sorgt der Sonnenwind für einen geringen, aber stetigen Zufluß von Wasserstoff und Helium in die Mondatmosphäre.

Die ersten Messungen in den Landegebieten von Apollo 12 und 14 ergaben eine Teilchendichte von etwa $2 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-3}$ während der Nacht und etwa $2 \cdot 10^7 \text{ cm}^{-3}$ während des Tages, was nahe der Mondoberfläche eine mittlere Dichte der Exosphäre von etwa $10^{-16} \text{ gcm}^{-3}$ ergab.

Die Gesamtmasse des Wasserstoffs in der gesamten Exosphäre beträgt nur einige kg, die Masse von Krypton und Xenon etwa 1000 kg.

Mit einem Massenspektrometer wurden am Landeort von Apollo 17 die Elemente Neon, Argon und Helium als Bestandteile der Exosphäre nachgewiesen. Die He-Konzentration betrug am Tag $3 \cdot 10^3$ und während der Nacht $6 \cdot 10^4 \text{ gcm}^{-3}$.

Die Gesamtmasse der Mondatmosphäre liegt bei etwa 2000 kg. Bei einer Verdichtung auf 1 Bar, also auf irdische Verhältnisse, könnte die gesamte Gasmenge der Mondatmosphäre im Wiener Planetarium untergebracht werden!

Noch etwas überraschender als die geringe Gasmenge in der Exosphäre zu Beginn der bemannten Mondlandungen war der Umstand, daß sich auch nach den Mondlandungen keine Zunahme der Dichte der Gashülle ergab. Im Lauf des Apolloprogramms wurden durch Verbrennung von Raketentreibstoffen etwa 100 000 kg Gase, vorwiegend Wasserdampf und Stickstoff, in die Exosphäre eingespeist. Dies ist etwa die 50-fache Masse der Exosphäre. Glücklicherweise sorgte die relativ hohe Adsorptionsfähigkeit des Regoliths für eine rasche Bindung dieser Gase. In den obersten Schichten des Mondbodens ist eine Gasmenge gebunden, die um einige Größenordnungen über jener der Exosphäre liegt.

Die derzeit nahezu totale Abwesenheit einer Gashülle um den Mond bedeutet aber nicht, daß der Mond zu keiner Zeit eine wesentlich dichtere Atmosphäre besaß. Nach Arnold (Lit.4) wird der Mond im Mittel etwa alle $3 \cdot 10^8$ Jahre von einem größeren Kometen getroffen. Da diese "schmutzigen Schneebälle" große Mengen an Wasser, Kohlendioxyd und Kohlenwasserstoffen enthalten, muß sich nach einem Einschlag für einen Zeitraum von einigen Tausend Jahren eine Atmosphäre mit einem Bodendruck von einigen mb ausbilden. Eine starke Erosionswirkung können derartige temporäre Gashüllen aber in der Vergangenheit nicht gehabt haben, da heute auf dem Mond keine auf Wasser oder Wind zurückführbare Erosionsspuren vorhanden sind. Man kann aber nicht behaupten, daß es auf dem Mond niemals geregnet hat.

Fortsetzung Gastvortrag: Magnetfelder und Atmosphäre des Erdmondes.

Es soll noch erwähnt werden, daß sich möglicherweise im Laufe der letzten 2 bis 3 Milliarden Jahre in den zirkumpolaren Schattengebieten des Mondes größere Mengen an H_2O und CO_2 angesammelt haben (Lit.4). Da solche Ablagerungen optisch nicht beobachtet werden können und in diesen Zonen bisher keine Radarmessungen gemacht wurden, existieren bisher keine Daten. Die für die Mondforschung und für die Raumfahrt wichtige Frage der Existenz von Eis auf dem Mond könnte mit einem γ - Strahlen - Spektrometer an Bord eines "Lunar Polar Orbiter" geklärt werden. Obwohl die NASA seit fast 10 Jahren Pläne für den Bau eines solchen Raumfahrzeuges hat, ist eine Realisierung des Projektes in diesem Jahrzehnt aus finanziellen Gründen nicht sehr wahrscheinlich.

Trotz ihrer sehr geringen Dichte kann man die Mondatmosphäre in einer Beschreibung des Erdmondes nicht vernachlässigen, da wichtige physikalische Mechanismen gerade für dieses fast ideale Vakuum verantwortlich sind.

Anhang: Die Großmonde im Sonnensystem

| Mondname | Masse kg | Masse Mond=1 | Durchmesser km | Dichte gcm^{-3} | Schwere- beschl.g. ms^{-2} | Atm.Druck mb |
|----------------|--------------------------|-----------------|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------|
| Ganymed | $1,49 \cdot 10^{23}$ | 2,03 | 5276 | 1,93 | 1,43 | $< 10^{-8}$ |
| Triton | $\sim 1,4 \cdot 10^{23}$ | $\sim 1,9$ | ≈ 5200 | $\approx 1,9$ | $\approx 1,3$ | $\sim 10^{-1}$ |
| Titan | $1,35 \cdot 10^{23}$ | 1,83 | 5140 | 1,90 | 1,36 | 1600 |
| Callisto | $1,07 \cdot 10^{23}$ | 1,45 | 4848 | 1,79 | 1,21 | $< 10^{-8}$ |
| Jo | $8,89 \cdot 10^{22}$ | 1,21 | 3632 | 3,53 | 1,79 | $\sim 10^{-4}$ |
| Erdmond | $7,35 \cdot 10^{22}$ | 1,00 | 3476 | 3,34 | 1,62 | $\sim 10^{-13}$ |
| Europa | $4,85 \cdot 10^{22}$ | 0,66 | 3126 | 3,03 | 1,32 | $< 10^{-8}$ |
| Japetus | $2,85 \cdot 10^{21}$ | 0,04 | 1440 | 1,8 | 0,37 | ? |
| Rhea | $2,14 \cdot 10^{21}$ | 0,03 | 1530 | 1,1 | 0,24 | ? |
| Zum Vergleich: | | | | | | |
| Merkur | $3,30 \cdot 10^{23}$ | 4,49 | 4878 | 5,44 | 3,70 | $\sim 10^{-11}$ |
| Pluto | $\sim 1,5 \cdot 10^{22}$ | $\sim 0,2$ | ~ 3300 | $\sim 0,8$ | $\sim 0,35$ | ~ 1 |

Die Atmosphären von Triton und Pluto bestehen aus CH_4 , jene von Jo aus SO_2 und H_2S ; die mächtige Gashülle Titans besteht zu 98% aus N_2 , zu 1% aus CH_4 , den Rest bilden Äthan, Azetylen, Propan, Zyanwasserstoff u.a.

Literatur: (1) E.H.Levy, Science, Vol.178, p.52 (1972).

(2) Z.Kopal, The Moon in the Post Apollo Era, Reidel (1974).

(3) L.L.Wood, G.Schubert, Science, Vol.208, p.49 (1980).

(4) J.R.Arnold, Journ.of Geophys.Research, Vol.84 B10, p.5659 (1979).

Dr.Norbert Giesinger, Gonzagag.12/3/16, A-1010 Wien.

Referat: Mondphotographie

Um in der Mondphotographie optimale Ergebnisse zu erhalten, ist es notwendig, auf einer kräftigen Montierung mit genauer Nachführung zu arbeiten. Die Nachführung sollte in der Geschwindigkeit regelbar sein, damit man die Drehgeschwindigkeit der Stundenachse exakt der scheinbaren Bewegung des Mondes, die veränderlich ist, anpassen kann. Als optimale Mondaufnahmen betrachtet man Negative, die mindestens eine Auflösung von 1" zeigen. Um diese Auflösung zu erreichen, arbeitet man am besten mit Instrumenten, deren Durchmesser größer als 120 mm ist.

Es ist möglich, mit Fernrohren unter 300 mm Öffnung bei günstigen Beobachtungsbedingungen die visuelle Auflösung photographisch beinahe zu erreichen. Der Grund für die allgemein akzeptierte gegenteilige Meinung dürfte in ungenauer Arbeit, unzureichenden Arbeitsmethoden und schlechten atmosphärischen Verhältnissen liegen.

Die theoretische Auflösung eines 300 mm - Objektivs beträgt bei der Wellenlänge 500 nm rund 0,4". Das bedeutet aber nicht, daß man kleinere Objekte als 0,4" nicht mehr sehen oder abbilden kann. Versuche zeigten, daß dunkle Mondrillen, deren Winkeldurchmesser schmäler ist als die Auflösung des Objektivs, trotzdem dokumentiert werden können. Allerdings werden die Rillen breiter abgebildet als sie sollten; die Dunkelheit der Rillenbreite verteilt sich auf den Durchmesser des Beugungsscheibchens. Mit einem 300 mm - Cassegrain erhielt ich Aufnahmen der Rillen des Mondkraters Alphonsus, die nur 0,27" breit sind, was z.B. auf Ranger- und Lunar-Orbiter-Aufnahmen leicht nachzuprüfen ist.

Das am besten zur Mondphotographie geeignete Instrument ist nach meinen praktischen Erfahrungen der Refraktor. Theoretische Betrachtungen sind unerheblich, wenn sie nicht von der Praxis bestätigt werden können. Um gleichgute Resultate mit Spiegelteleskopen zu erzielen, muß der Spiegeldurchmesser etwa um die Hälfte größer sein. Ich verwendete zur Mondphotographie u.a. den 200 mm Nemeo-Refraktor und den 300 mm Cassegrain-Reflektor der Volkssternwarte München. Beide Instrumente sind unter denselben Verhältnissen fast gleichwertig. Bei schlechten Luftverhältnissen ist der Spiegel viel schlechter als der Refraktor, bei besten Luftverhältnissen sind beide etwa gleichgut.

Zur Veränderung der Nachführgeschwindigkeit haben sich Frequenzwandler bewährt, die am Synchronmotor der Nachführung angeschlossen werden. Ohne regelbare Nachführung sollte der Mond nicht länger als

Fortsetzung Referat: Mondphotographie

eine halbe Sekunde belichtet werden, sonst entsteht bereits Bewegungsunschärfe. Der Mond muß in jedem Fall wegen seiner veränderlichen Bewegung in Deklination kürzer als 3 Sekunden exponiert werden; mit einer Nachführung in Deklination - wobei man die Belichtungszeit verlängern könnte - sind meist nur professionelle Instrumente ausgerüstet.

Aufnahmetechnik

Die Aufnahmetechnik an kleinen und größeren Instrumenten ist ähnlich, es sei daher ein Beispiel für ein größeres Instrument gebracht.

Beispiel:

Mondaufnahme mit einem Cassegrain-Reflektor 300/5400 mm.

Situation: Konstante Hochdruckwetterlage, Durchsicht normal, leichter Dunst am Horizont.

Instrument: 300 mm Cassegrain, $F = 5400$ mm, verlängert mit 2x Barlowlinse auf $F = 10800$ mm. Exakte Nachführung mit Frequenzwandler, angepaßt an die tatsächliche, augenblickliche Mondgeschwindigkeit.

Kamera: Kleinbild-Spiegelreflexkamera mit getrennter Spiegelauslösung, was sehr wichtig ist; durch den Spiegelrückschlag und die dadurch verursachten Erschütterungen sind schon viele Mondaufnahmen verdorben worden.

Film: Panchromatischer Film, 14/10 DIN.

Aufnahme: Nach 1/2-stündigem Temperaturangleich an die Außenluft ist das Instrument einsatzbereit. Das Öffnungsverhältnis des Teleskops ist jetzt etwa 1:40, bei Berücksichtigung des lichtabdeckenden Fangspiegels. Die Belichtungszeit, durch frühere Tests ermittelt, beträgt während der Halbmondphase 1/2 Sekunde, bei Film von 14/10 DIN. Die Luftverhältnisse werden im Okular bei 300-400 facher Vergrößerung geprüft, gleichzeitig regelt man die Nachführung mittels eines Mondkraters im Fadenkreuz ein, vorausgesetzt, der Frequenzwandler läßt dies zu. Anschließend wird das gewünschte Aufnahmeobjekt der Mondoberfläche positionell auf der Mattscheibe eingestellt. Die Scharfstellung auf der Mattscheibe erfolgt zügig, nicht zu langsam. Das Einstellrad wird mehrmals intrafokal / extrafokal gedreht, bis man sicher ist, daß genau die schärfste Stellung erreicht ist; das erkennt man nicht nur an der Konturenschärfe der Kraterkämme und Bergspitzen, sondern auch am erhöhten Kontrast, der sofort außerhalb des Brennpunkts nachläßt. Nach exakter Fokussierung wird der Kameraspiegel ausgelöst. Ist die Erschütterung, die der Spiegel beim Anschlag verursacht, abgeklungen, wartet man einen luftruhigen Moment im Leitfernrohr - oder, wie auf der Urania-Sternwarte in Wien möglich, in einem Parallelfernrohr - ab und belichtet. Vor weiteren Aufnahmen soll aber immer wieder scharf

Fortsetzung Referat: Mondphotographie

gestellt werden, um die Möglichkeit einer einmal vielleicht ungenauen Einstellung auszuschließen. Ich bin selbst nie ganz sicher, ob ich wirklich scharf gestellt habe und mache daher meist ganze Aufnahmereihen mit wenig geänderter Einstellung - was auch hinsichtlich der Luftunruhe günstig ist.

Der Ablauf der Mondphotographie mit einem Refraktor ist der gleiche, nur muß im Strahlengang des Fernrohrs ein Gelbfilter angebracht sein, um das bildverschlechternde sekundäre Spektrum auszusperren.

Aufnahmetechnik für Mondfinsternisse

Den Verlauf der Finsternis dokumentiert man durch Serienaufnahmen, die auch zusammenmontiert werden können. Im allgemeinen benützt man dazu kleinere Rohre, damit der Mond ganz abgebildet wird; auch ist hier keine so extrem hohe Auflösung nötig, denn der Kernschattenrand ist nicht scharf. Es ist allerdings selten möglich, den gesamten Verlauf einer Mondfinsternis zu erfassen, weil sie zu lange dauert.

Die einzelnen Phasen einer Mondfinsternis sollten mit verschiedenen Belichtungszeiten photographiert werden. Die Lichtabnahme des Mondes vom Vollmond bis zur Totalität ist so stark, daß der total verfinsterte Mond einige tausend Mal so lange belichtet werden muß wie der Vollmond. Wird der Vollmond z.B. mit einem bestimmten Instrument $1/25$ Sekunde belichtet, so sind für die Totalität etwa 2 Minuten erforderlich. Dazu ausgezeichnetes Nomogramm im Sternfreunde-Seminar 1979!

Labortechnik

Besondere Entwickler für Mondnegative gibt es nicht, aber es ist ratsam, einen hart arbeitenden Feinkornentwickler zu verwenden. Der Kontrast des Filmes soll aber nicht zu groß sein, denn der Mondterminator ist ohnehin schon sehr kontrastreich. Bei zu harten Negativen ergeben sich Schwierigkeiten beim Vergrößern; außerdem gehen die Zwischentöne, z.B. die terrassenförmigen Abstufungen von Kraterwällen, verloren. Der Negativkontrast soll etwa so stark sein, daß auf hartem Bromsilberpapier ein brillantes Bild entsteht, auf dem die Schatten der Mondgebirge tiefschwarz sind und dessen helle Bildteile noch Zwischentöne neben reinem Weiß zeigen. Beim Vergrößern muß berücksichtigt werden, daß sich der Helligkeitsabfall zum Terminator hin durch hartes Entwickeln und Vergrößern noch stärker bemerkbar macht. Die Schattengrenze ist deshalb beim Vergrößern kürzer zu belichten als der voll erleuchtete Mondteil. Mit einer Papierschablone nahe dem Vergrößerungspapier wird im Strahlengang des Vergrößerers der Mond zum Terminator hin verlaufend kürzer belichtet ("abgewedelt"). Die schwarze Papierschablone soll wie der jeweilige Terminator gekrümmt sein.

Fortsetzung Referat: Mondphotographie

Filmmaterial

Vor etwa 5 bis 15 Jahren war nicht nur in Mitteleuropa, sondern auch in den USA der populärste Film der ADOX KB 14 und 17. Heute wählt man, wenn keine allzugroßen Projektionen auf dem Film erzeugt werden, Filme in ähnlichem Bereich, 14/10 bis 20/10 DIN. Eine Neuentwicklung bei Kodak war der Film KODAK SO 410 MICROPHOTOGRAPHY MONOCHROME, der enorm hohen Kontrast besitzt, extrem feinkörnig ist und bei hoher Rotempfindlichkeit 20/10 DIN Empfindlichkeit hat. Er ist für Mondaufnahmen ideal. Dieser Film wurde von Kodak weiter verbessert. Er heißt heute KODAK SO 115 TECHNICAL PAN und bietet bei 20/10 DIN extrem feines Korn sowie bei einem Kontrast 1:1000 eine Auflösung von 300 Linien/mm! Das erreichen, schon wegen der Luftunruhe, selbst recht spezielle Instrumente nicht - der Film ist also schärfer als das Bild!

Für lichtstarke Instrumente, in Primärfokus gebraucht, ist ein anderer Film von Kodak zu empfehlen: KODAK HIGH CONTRAST COPY PAN, mit 10/10 DIN. Mit ihm wurde die Aufnahme gemacht, die als Beispiel zu diesem Referat öffentlich im Planetarium ausgestellt ist.

Entwicklung dieser beiden Filme "Technical Pan" und "High Contrast Copy Pan":

Man verdünnt 1 Ampulle "Neofin Doku" von Tetenal mit Wasser auf 400 cm³ und fügt 1 cm³ Neofin Blau dazu. Bei +20°C und einem Kippzyklus von 3 Sekunden, also alle 3 Sekunden die Entwicklungsdose kippen, wird 5 Minuten lang entwickelt. Dann ist der Kontrast auf dem Negativ so, daß mit normalem bis hartem Papier gute Ergebnisse erzielt werden, die im Kontrast zufriedenstellen.

Ausgestellte Muster-Mondaufnahme

Zu diesem Referat ist im Wiener Planetarium eine Mondaufnahme öffentlich ausgestellt:

Refraktor der Volkssternwarte München, HA 175/3000 mm, 11°36'31"E/
48°07'21"N, 551m.

1981 April 12, 19^hUT,

Geozentrische Libration: L = 6,89°, B = -0,17°,

Positionswinkel Mondnordpol: 16,68°,

Morgenterminator, selenozentrische Länge: -9,34° = 350,66°,

Mondalter: 8,0 Tage.

Der Mond stand nach seiner Kulmination in 59° Höhe (sehr wichtig!), die Aufnahme entstand in Primärfokus, 0,5 Sekunden Belichtungszeit, auf KODAK HIGH CONTRAST COPY PAN (ca. 10/10 DIN), Entwicklung s.oben, Vergrößerungen auf Monddurchmesser $\hat{=}$ 563 mm sowie 205 mm, weiters Kontaktkopie des Originalnegativs, Monddurchmesser 27 mm $\hat{=}$ 0°15'41".

H. Bernhard, Haseneyst. 27, München 70, BRD.

Referat: Mondfahrer-Denksport.

Die folgenden kleinen Denk- und Rechenaufgaben mögen den vergnüglichen - und angesichts des neuen, durch den Space-Shuttle eingeleiteten Abschnittes der Weltraumtechnik auch gar nicht mehr allzu utopischen - Schluß unseres Seminars bilden. Sie sind, bis auf die letzte Aufgabe, bereits im "Sternenboten" 8 und 12/1968 sowie 4 und 11/1979 (Prof. Dr. Walter Martinetz, Linz) veröffentlicht worden.

Alle Seminar-Teilnehmer sind herzlich eingeladen, sich an ihnen zu versuchen. Die Lösungen finden sich am Schluß des Referates.

Folgende Konstanten wurden verwendet:

| | |
|---|---|
| Verhältnis der Massen Erde/Mond | 81,301 |
| Mittlerer Mondradius | 1738 km |
| Mittlere Dichte des Mondes | 3,34 g/cm ³ |
| Schwerebeschleunigung an der Mondoberfläche | 162 cm/s ² (gal) |
| Gravitationskonstante x Mondmasse | 4,9027 x 10 ¹⁸ cm ³ /s ² |

1) Fernsicht im Riccioli

William Brown, Wissenschaftler in einem der Laboratorien auf dem Mond, machte wieder einmal in der Bar "Luna Rossa" Rast. Sie war einer Reiserakete nachgebildet, rot gestrichen und stand inmitten des Ringgebirges Riccioli, das einen Durchmesser von 160 km aufweist.

Mißmutig blickte Brown von seinem Aussichtsplatz, 6 m über dem Mondboden, durch das dunkle Plastikfilterfenster über die Mondlandschaft. Nach der Rückkehr zur Erde mußte er wohl seine Augen untersuchen lassen, ob sie nicht am Ende strahlengeschädigt wären, wie er befürchtete; denn trotz aller Anstrengungen konnte er z.B. keine Spur der Wallberge des Riccioli sehen, von denen er wußte, daß sie hoch waren.

Am Ende waren sie aber vielleicht von der Mitte des Ringgebirges gar nicht wahrnehmbar? Brown wollte sich aber durch solch eine Neulingsfrage vor dem italienischen Barbesitzer nicht blamieren und griff zu Papier und Kugelschreiber, um eine kleine Überschlagrechnung anzustellen. Er setzte als Mondradius 1738 km an und berechnete zunächst die Sichtweite für 6 m Augenhöhe. Dann ging er an die Aufgabe heran, ob aus 80 km Entfernung Berge von 1,3 km Höhe sichtbar wären. Zu welchen Ergebnissen kam er schließlich?

2) Wettfahrt mit dem Schatten

Als die sinkende Sonnenscheibe den Mondhorizont gerade berührte, flammte das erste Alarmzeichen auf. Die französischen Vermessungstechniker am Mondäquator beendeten ihre Arbeit und zogen sich während der Dämmerung in ihre Unterkunft zurück. Nur der Einzelgänger Jean,

der in einem Schacht Schweremessungen anstellte, kehrte innerhalb der Halbnacht-Zeitspanne nicht zurück. Erst als das zweite Alarmlicht aufleuchtete und den Beginn der Vollnacht ankündigte, rollte sein kleines Fahrzeug in die Station ein.

"Ich hatte die erste Warnung ganz überhört," berichtete er, "da läutete meine Armbanduhr zum zweiten Mal. Erschrocken kletterte ich an die Oberfläche und sah mit Schrecken, wie der die tödliche Kälte bringende Schlagschatten schon bedrohlich nahe war.

Mit einem Satz saß ich im Fahrzeug und flüchtete schnurgerade heimwärts, doch der Schatten blieb mir immer im Rücken und ließ sich nicht abschütteln. Nach einer halben Stunde nervenzermürender Jagd erblickte ich endlich den Hangar und war gerettet."

In der Station ließ sich Jean die ganze Sache durch den Kopf gehen. Der Mond braucht zu einer Umdrehung relativ zur Sonne 29,5 Tage und Nächte, was 708 Stunden ausmacht. Der scheinbare Sonnendurchmesser beträgt rund $0,5^\circ$ und der Mondumfang mißt bekanntlich 10 920 km. Mit einer kurzen Rechnung rief er sich all das ins Gedächtnis zurück, was er bei seinem Mond-Lehrgang gehört hatte:

Wie lange dauert die Dämmerung der Halbnacht? Wie breit ist die Dämmerungszone? Wie schnell rückt die Schattengrenze am Mondäquator weiter? Wie lange dauert die Vollnacht? Schließlich rechnete er sich zum Spaß noch aus, wie weit sein ebenfalls auf dem Mondäquator liegender Meßschacht von der Station entfernt war. Welche Ergebnisse erhielt er?

3) Strichspur-Aufnahme von Polsternen

Nachdem Franz Slepicka, ein gebürtiger Wiener, seine Matura mit Auszeichnung bestanden hatte, nahm ihn sein Vater zur Belohnung zum ersten Mal auf den Mond mit; er leitete dort die europäische Sternwarte, durch die er nun seinen Sohn führte.

Vom nächtlichen Mondfirmament strahlen stechend hell die feinen Punkte der Sterne. Da hatte Franz eine Idee: Auf der Erde hatte er schon oft mit feststehender Kamera die Strichspuren der Sterne in der Nähe des Himmelspols photographiert. Hier auf dem Mond würde das sicher noch viel besser gehen! Schnell hatte er seine gute, alte Rolleiflex 6x6 cm zur Hand und orientierte sie nach einem Blick auf die parallaktische Montierung des großen Fernrohrs zum Himmelspol des Mondes. Mit einer Stunde Belichtungszeit hatte er auf der Erde schöne Kreisbogenstücke erhalten. So belichtete er auch nun eine Stunde. Doch als der eifrige Himmelsphotograph später den entwickelten Film betrachtete, war er einigermaßen verwundert. Die Verhältnisse auf dem Mond waren für eine Strichspur-Aufnahme doch ganz andere als auf der Erde!

Fortsetzung Referat: Mondfahrer-Denksport.

Die Brennweite des verwendeten Rolleiflex-Objektivs betrug 80 mm. Welche helleren Sterne hatten Spuren um den in der Feldmitte liegenden Himmelsnordpol gezeichnet und welchen Zentriwinkel hatten jene? Warum war Franz wohl verwundert?

4) Hochsprung-Rekord

Fjodor Soschtschenko war zwar noch niemals zum Mond gestartet, hatte aber im Moskauer Stadion seinem Land den Weltrekord im Hochsprung eingetragen: Als Sportler von 1,94 m Größe war er 2,25 m hoch gesprungen. Er erinnerte sich an den lustigen Bildbericht über den Siamkater, der vorige Woche zum Gaudium der Kosmonauten Riesensprünge im kuppelüberdeckten Siedlungsbau der UdSSR zustande gebracht hatte, ganz leicht und unbeschwert von der sechsmal geringeren Gravitation, die der Mond gegenüber der Erde aufweist.

Fjodor sinnierte ein wenig und überlegte, wie schön es wäre, auch auf dem Mond einen Hochsprungrekord aufzustellen. Er würde dort sechsmal höher als auf der Erde springen können und mithin $6 \times 2,25 \text{ m}$, also 13,5 m Sprunghöhe erreichen.

Ein paar Tage später traf er einen alten Schulkollegen, der Physik studiert hatte. Bald saßen beide über ein Blatt Papier gebeugt und Fjodor sah, wie sein Schulfreund eine flüchtige Skizze entwarf und nach einem prüfenden Blick auf seine sportliche Gestalt meinte: "Dein Schwerpunkt liegt wohl ungefähr 1 m über dem Boden"? Endlich unterstrich der Physiker das Resultat, die errechnete Sprunghöhe auf dem Mond, falls die irdische Sprunghöhe 2,25 m beträgt: Wie lautete es?

5) Zeitungslektüre im Erdschein

Iwan Robinson, ein Sowjetamerikaner, hatte das UNO-Mondlabor in der Regenbogenbucht angesteuert und blickte nun gelangweilt auf die öde Gegend, die noch dazu wieder einmal in Neumondnacht getaucht war. Am pechscharzen Himmel strahlte mitten unter den Sternenpunkten die helle Vollerde.

Mit einem schweren Seufzer schaute er zu ihr hinauf, denn er wäre viel lieber schon wieder daheim bei seiner Familie gewesen. Dann entfaltete er die neueste Nummer der "Earth News", um sich die letzten irdischen Sportnachrichten anzusehen. Brauchte er dazu künstliches Licht oder genügte zum Zeitungslesen der Schein der Erde?

Als geschulter und erfahrener Raumpilot hätte er noch auf der Erde die richtige Antwort geben können und auch die Erklärung wäre ihm nicht schwer gefallen: Die Beleuchtungsstärke durch den Vollmond beträgt auf die Erdentfernung 0,2 Lux und zum Lesen reichen rund 20 Lux aus. Die Albedo der Erde ist rund 7 mal größer als die des Mondes und

Fortsetzung Referat: Mondfahrer-Denksport.

die Fläche der Erdscheibe am Mondhimmel ist 13,5 mal größer als die des Mondes am Erdhimmel. Mit diesen Daten kann man leicht die Frage entscheiden, ob Iwan Robinson beim Schein der Vollerde ohne künstliches Licht seine Zeitung lesen konnte oder nicht.

6) Erdrotation

John Harding war zwar ein tüchtiger Raumpilot, aber schon in seiner Schulzeit schwach in der Mathematik und Himmelsmechanik. Was er davon nicht unbedingt beruflich brauchte, vergaß er bald und gern. Mißtrauisch blickte er auf das überdimensionale Zifferblatt der astronomischen Uhr, die mit der jeweiligen Mondzeit auch inzwischen vollführte Erdumdrehungen abzulesen erlaubte. Florida stand noch immer nicht in der Mittellinie der Erdscheibe, obwohl dies vor genau 24 Erdstunden der Fall gewesen war. Zurzeit stand erst die Insel Haiti dort.

Kaugummi kauend lehnte sich John in seinen Sessel zurück, kratzte sich am Kopf und knurrte ungläubig: "Verdammt, hat sich denn die alte Erde nicht alle 24 Stunden einmal um sich selbst gedreht?"

Wie lange wird John noch auf die nächste Passage Floridas warten müssen und wie lange dauert eine volle Erdumdrehung für ihn auf dem Mond?

7) Kreisbahn um den Mond

Durch die gemeinsame Astronautenausbildung waren Mike und Wladimir richtige Freunde geworden. Von den Erdumkreisungen her war ihnen aus der Praxis gut bekannt, daß eine solche mindestens 84 Minuten erfordert.

Als die beiden wieder einmal über Kreisbahnen nahe der Mondoberfläche theoretisierten, erklärte Mike unüberlegt: "Die Umfänge der Erde und des Mondes verhalten sich bekanntlich wie 11 zu 3, da kann ja auch die Minimal-Umkreisungsdauer für den Mond nur etwas mehr als $\frac{1}{4}$ der irdischen Dauer betragen". Wladimir wäre vor Lachen fast erstickt, als er dies hörte. "Du glaubst also wirklich, daß man den Mond in nur 23 Minuten umkreisen kann? Hast Du denn nicht die verschiedenen Schwerkräfte berücksichtigt?" Sogleich war Mike überzeugt und pflichtete dem Ergebnis Wladimirs bei. Welches Resultat erhielten die beiden für die kürzest mögliche Umkreisungsdauer des Mondes?

8) Translunarer Tunnel

Hans, ein ausgezeichnete Spezialarbeiter auf dem Mond, war diesmal über seine 4-stündige Sonderschicht am neuen, erst vorige Woche vollendeten translunaren Tunnel keineswegs erfreut. Er hatte letzte Nacht in der Bar "Luna Rossa" einige Gläser zuviel getrunken und kam des-

Fortsetzung Referat: Mondfahrer-Denkspott

halb nach der üblichen Fahrzeit von 1 Stunde mit argen Kopfschmerzen an der Mündung des großartigen, genau längs eines Durchmessers durch den ganzen Mond geführten Schnelltransport-Schachtes an. Daß er heute nicht ganz in Form war, sollte er gleich merken! Er stolperte über ein Kabel und mußte, starr vor Schreck, zusehen, wie seine Tasche mit dem Spezialwerkzeug langsam in der gähnenden, schwarzen Tiefe verschwand.

Doch bald beruhigte sich Hans und begann zu überlegen: Gewiß bewegte sich die Tasche im Schacht genähert wie ein Pendel - schnell die drei Zahlen in den Taschenrechner getippt! Nun galt es bloß, die Dauer der Schwingung abzuwarten; er setzte sich in sein kleines Fahrzeug, stellte die Weckarmbanduhr und schlief ein.

Schon nach kurzer Zeit wurde er von seinem Vorgesetzten unsanft aus dem Schlummer gerissen und als dieser von dem Mißgeschick erfuhr, meinte er leichthin: "Warum sind Sie denn nicht gleich zur Station zurückgefahren und haben neues Werkzeug geholt? Das wäre schneller gegangen als zu warten, bis es wieder hier oben erscheint." Doch Hans verteidigte seine entgegengesetzte Meinung, daß es keine 2 Stunden dauere, bis die Tasche den Schacht hin und zurück durchflogen habe. Wer hatte nun recht und wie lange flog die Tasche im Schacht?

Lösungen. Sie zeigen die erstaunlichen Unterschiede zwischen irdischen und lunaren Verhältnissen!

- 1) Die Sichtweite für 6 m Augenhöhe beträgt 4570 m. Der Riccioli-Wall ist unsichtbar; erst 1700 m hohe Berge wären sichtbar.
- 2) Die Dämmerung der Halbnacht beträgt 1h, die Dämmerungszone ist 15,4 km breit und rückt mit 15,4 km/h vor. Die Vollnacht dauert 14,75 Erdentage und der Messschacht steht 7,7 km von der Station ab.
- 3) Franz hätte u.a. Zeta im Drachen gefunden, die Spuren hätten 0,5° Zenitwinkel gehabt und er hätte sich über ihre Kürze gewundert: Sie wären am Negativ nicht länger als 0,25 mm gewesen.
- 4) Soschtschenko wäre 8,5 m hoch gesprungen.
- 5) Die Zeitung ist noch lesbar, denn die Vollerde leuchtet mit 19 Lux.
- 6) John muß noch 50 Minuten auf die nächste Passage Floridas warten; die Erddrehung beträgt mit Bezug auf den Mond etwa 24h50m.
- 7) Zur Umkreisung des Mondes braucht man mindestens 108 Minuten.
- 8) Hans hat Recht. Die Tasche fliegt 108 Minuten. Das entspricht übrigens der Kreisbahn-Umlaufzeit.

